

Pengecoran Squeeze

Soejono Tjitro

Dosen Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra

Firdaus

Dosen Jurusan Teknik Mesin – Politeknik Negeri Sriwijaya

Abstrak

Pengecoran *squeeze*, yang juga dikenal dengan istilah penempaan logam cair, merupakan suatu istilah yang dipakai untuk menggambarkan suatu proses dimana logam cair didinginkan di dalam cetakan tertutup sambil diberi tekanan luar yang biasanya berasal dari tenaga hidrolik. Tekanan yang diberikan serta kontak langsung antara logam cair dengan dinding cetakan akan menyebabkan terjadi perpindahan panas secara cepat yang memungkinkan untuk menghasilkan produk cor dengan porositas rendah serta memiliki ukuran butir yang halus dengan sifat mekanik yang mendekati produk tempa umumnya.

Karya tulis ini mencoba mengkaji perkembangan terkini dari pengecoran *squeeze* serta keunggulan dan keterbatasan proses ini dibandingkan proses-proses lainnya.

Kata kunci: pengecoran *squeeze* langsung, pengecoran *squeeze* tak langsung

Abstract

Squeeze casting, also known as liquid metal forging, is a term commonly used to describe a process by which molten metal solidifies under pressure within closed dies position between the plates of a hydraulic press. The applied pressure and instant contact of the molten metal with the die surface produce a rapid heat transfer condition that yields a pore-free fine grain casting with mechanical properties. Which is similar to those of wrought products.

This papers reviews aspect of recent progress in the development of current squeeze casting techniques, and address both the advantages and limitations of the various processes.

Keywords: *direct squeeze casting, indirect squeeze casting*

1. Pendahuluan

Pengecoran *squeeze* pertama kali diperkenalkan di negara Russia oleh Chernov pada tahun 1878. Pengecoran *squeeze* sering digambarkan sebagai suatu proses dimana logam cair dibekukan di bawah tekanan eksternal yang relatif tinggi. Proses ini pada dasarnya meng-kombinasikan keuntungan-keuntungan pada proses *forging* dan *casting*.

Pengecoran *squeeze* sering disebut juga penempaan logam cair (*liquid metal forging*). Proses pematatan logam cair dilaksanakan di dalam cetakan yang ditekan dengan tenaga hidrolis. Penekanan logam cair oleh permukaan cetakan akan menghasilkan perpindahan panas yang cepat dan menghasilkan penurunan porositas seperti sering terjadi pada produk cor besi tempa (*wrought iron*).

Hasil proses penempaan logam cair adalah produk yang mendekati ukuran standarnya (*near-net shape*) dengan kualitas yang baik. Sedangkan struktur-mikro hasil pengecoran *squeeze* tampak lebih padat dibandingkan dengan hasil pengecoran dengan cara *gravity* (Yue, 1996). Hal ini terjadi karena kontak logam cair dengan permukaan *die* memungkinkan terjadinya perpindahan panas yang cukup cepat sehingga menghasilkan struktur-mikro yang homogen dengan sifat mekanik yang baik.

2. Klasifikasi Pengecoran Squeeze

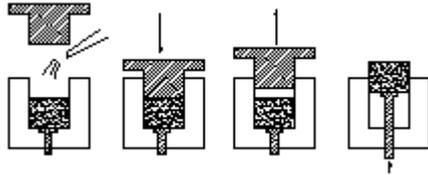
Berdasarkan mekanisme pengisian logam cair ke dalam *die*, pengecoran *squeeze* dikategorikan menjadi 2 jenis, yaitu: *direct squeeze casting* dan *indirect squeeze casting*.

2.1 Direct Squeeze Casting (DSC)

DSC merupakan istilah yang diberikan untuk proses pengecoran dimana logam cair

Catatan : Diskusi untuk makalah ini diterima sebelum tanggal 1 Februari 2001. Diskusi yang layak muat akan diterbitkan pada Jurnal Teknik Mesin Volume 3 Nomor 1 April 2001.

didinginkan melalui pemberian tekanan secara langsung yang diharapkan mampu mencegah munculnya porositas gas dan penyusutan. Proses ini dikenal juga dengan sebutan *liquid-metal forging*, *squeeze forming*, *extrusion casting* dan *pressure crystallisation*.



Gambar 1. Mekanisme *direct squeeze casting* [Yue, 1996]

Keuntungan utama proses DSC adalah sebagai berikut:

- Mampu menghasilkan produk cor tanpa porositas gas dan penyusutan.
- Tidak memerlukan *gating system*, sehingga tidak terjadi penguapan material.
- Tidak begitu mempertimbangkan *castability* karena pemberian tekanan dapat mengeliminir kebutuhan akan *high fluidity*, baik untuk coran secara umum maupun paduan kasar.
- Mikro-struktur coran dapat dimanipulasi dengan mudah melalui suatu proses kontrol yang baik, seperti temperatur penuangan dan besarnya tekanan. Untuk mendapatkan sifat coran yang optimum dapat juga ditambahkan bahan inti tertentu, tetapi hal ini biasanya tidak begitu penting.
- Dikarenakan tidak adanya cacat pada proses *squeeze* yang baik, biaya perlakuan setelah coran selesai dan biaya untuk pengelasan *non destructive* dapat dihemat atau tidak diperlukan.
- Sifat mekanik hasil coran dengan komposisi yang sama, bisa sebaik atau bahkan lebih baik dibandingkan produk coran dengan teknik yang lain melalui rekayasa perilaku isotropik. Untuk itu “*casting factor*” bahan tersebut harus dianggap satu kesatuan.
- *Pengecoran Squeeze* merupakan salah satu teknik yang paling efektif dan efisien untuk menghasilkan komponen komposit/paduan ferrous maupun non ferrous dengan bentuk mendekati kesempurnaan. Toleransi ukuran yang dapat dicapai proses ini $\pm 0,05$ mm.

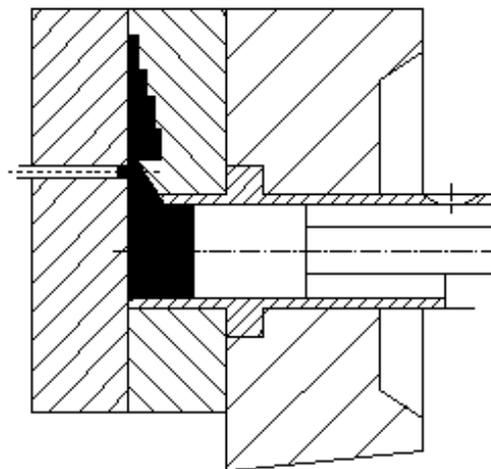
2.2 Indirect Squeeze Casting (ISC)

Istilah *indirect* dipakai untuk menggambarkan injeksi logam ke dalam rongga cetakan dengan bantuan piston berdiameter kecil

dimana mekanisme penekan ini dipertahankan sampai logam cair membeku. Keuntungan utama ISC adalah kemampuannya untuk menghasilkan produk cor dengan bentuk yang lebih kompleks dengan memberikan beberapa sistem pengeluaran inti (*core pull*). Proses ini sebetulnya merupakan proses cangkakan antara *low pressure* dan *high pressure die casting*.

Proses ISC ini tidak sebaik proses DSC. Secara khusus ada dua kelemahan ISC dibanding dengan DSC:

- Penggunaan bahan baku tidak efisien karena adanya kebutuhan pembuatan *runner* dan *gating system*. Efisiensi pemakaian bahan hanya 28 % (Wakil, 1989). Sebagai contoh untuk menghasilkan piston dengan berat 0,62 kg diperlukan bahan cor seberat 2,2 kg.
- *Wrought aerospace alloys* yang memiliki kekuatan yang tinggi, pada dasarnya sulit dikerjakan dengan ISC, kalau pun bisa hasil coran tidak bebas dari cacat.



Gambar 2. Mekanisme *Indirect Squeeze Casting* (Hu, 1998)

Faktor kunci dalam ISC adalah memberikan proses pengisian ke rongga cetak secara mulus tanpa mengakibatkan aliran turbulen. Ini berarti bahwa cairan logam mengalir secara laminar selama pengisian ke rongga cetak. Makin rendah kecepatan pengisian, menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminar (Hu, 1998). Akan tetapi kecepatan pengisian yang terlalu rendah dapat menyebabkan kehilangan panas (*heat loss*) yang besar dan berakibat pada terjadinya *premature solidification* serta *cold shuts* (Hu, 1998). Oleh karena itu perlu menentukan kecepatan pengisian yang optimal, sehingga

aliran pengisian menjadi laminer dan tidak terjadi aliran turbulensi. Cara yang paling efisien untuk mendapatkan kecepatan pengisian optimal ialah dengan menggunakan simulasi numerik yang dapat mengeliminasi kerja *trial and error* serta menghemat pemakaian bahan dan tenaga kerja. Salah satu perangkat lunak yang dapat dipakai untuk keperluan tersebut adalah perangkat lunak CAE *Casting MAGMASOFT*.

3. Parameter Proses Pengecoran Squeeze

Untuk memperoleh produk cor yang memenuhi syarat-syarat ideal bagi suatu *sound - cast*, ada beberapa variabel yang perlu diperhatikan, yaitu :

1. Volume Cairan Logam (*Melt Volume*)
Diperlukan kontrol yang akurat ketika logam cair dituangkan ke dalam rongga cetak (*die cavity*).
2. Temperatur Tuang (*Casting Temperature*)
Temperatur ini tergantung pada jenis paduan dan bentuk coran/komponen. Biasanya temperatur tuang diambil 6–55°C di atas temperatur *liquidus*.
3. Temperatur Perkakas (*Tooling Temperature*)
Temperatur normal adalah 190–315°C. Untuk produk cor yang mempunyai penampang relatif tebal, rentang temperatur ini dapat diturunkan. Biasanya temperatur *punch* diatur 15–30°C di bawah temperatur *die* terendah untuk memungkinkan adanya kelonggaran atau ventilasi yang memadai di antara keduanya. Kelonggaran yang berlebihan antara *punch* dan *die* mengakibatkan erosi pada permukaan keduanya.
4. Waktu Tunggu (*Time Delay*)
Waktu Tunggu adalah lamanya waktu yang diukur dari saat pertama penuangan logam cair ke dalam rongga cetak hingga saat permukaan *punch* menyentuh dan mulai menekan permukaan logam cair. Bentuk penampang yang kompleks memerlukan waktu yang cukup bagi logam cair mengisi keseluruhan rongga cetakan; untuk itu perlu adanya tenggang waktu yang cukup sebelum *punch* menyentuh dan menekan logam cair. Hal ini untuk menghindari terjadinya porositas akibat penyusutan (*shrink porosity*).
5. Batas Tekanan (*Pressure Level*)
Rentang tekanan normal adalah 50–140 MPa, tergantung pada bentuk geometri komponen serta sifat mekanis yang dibutuhkan. Tetapi dimungkinkan tekanan minimum adalah 40 Mpa [Hu, 1998]. Tekanan yang sering digunakan 70 MPa.
6. Durasi Penekanan (*Pressure Duration*)
Durasi penekanan dihitung dari saat *punch* di titik terendah sampai saat *punch* diangkat (penekanan dilepaskan). Produk cor dengan berat 9 kg, durasi penekanannya bervariasi antara 30–120 detik. Akan tetapi biasanya durasi ini juga tergantung pada bentuk geometri coran yang diinginkan. Untuk material komposit pemberian tekanan setelah pembekuan (*solidification*) tidak memperbaiki sifat, tetapi hanya menambah waktu siklus saja.
7. Pelumasan (*Lubrication*)
Pengecoran *squeeze* membutuhkan pelumas pada permukaan *dies* untuk memudahkan proses pengeluaran produk cor dari cetankannya. Akan tetapi sistem pelumasan ini diusahakan jangan sampai menutupi lubang ventilasi yang ada pada *dies*. Untuk paduan aluminium, magnesium, dan tembaga, permukaan *dies* biasanya disemprot dengan pelumas *colloidal graphite*. Sedangkan *ferrous casting*, permukaan *dies* biasanya dilapisi dengan sejenis bahan keramik untuk mencegah efek pengelasan antara produk cor dengan permukaan *dies*.
8. Kecepatan Pengisian (*Filling Rate*) (Hu, 1998).
Makin rendah kecepatan pengisian akan menyebabkan makin tingginya kemungkinan untuk mendapatkan aliran laminer. Akan tetapi kecepatan pengisian yang terlalu rendah dapat menyebabkan kehilangan panas (*heat loss*) yang besar dan berakibat pada terjadinya *premature solidification* serta *cold shuts*. Oleh karena itu perlu ditentukan kecepatan pengisian yang optimal, sehingga aliran pengisian menjadi laminer dan tidak terjadi turbulensi.

4. Kontrol Kualitas Pengecoran Squeeze

Yang dimaksud dengan kontrol kualitas meliputi antisipasi terhadap kemungkinan cacat yang dapat terjadi dan pengujian produk cor *squeeze*.

4.1 Kontrol Kualitas terhadap Kemungkinan Cacat Cor

Kontrol kualitas yang akurat terhadap variabel proses yang telah dijelaskan di atas dapat mengurangi atau mencegah salah satu atau beberapa cacat cor yang mungkin terjadi. Adapun jenis cacat cor yang sering terjadi

adalah: *oxide inclusions*, *porosity*, *extrusion segregation*, *centerline segregation*, *blistering*, *cold laps*, *hot tearing*, *sticking*, *case debonding* serta *extrusion debonding*.

Oxide inclusions adalah cacat yang disebabkan kegagalan dalam menangani kebersihan logam cair, khususnya pada waktu logam cair dipindahkan ke dalam rongga cetakan. Untuk itu perlu menggunakan saringan pada saat penuangan. Selain itu perlu dijaga agar tidak terjadi aliran turbulen pada waktu pengisian rongga cetakan.

Porosity adalah cacat yang disebabkan kurangnya tekanan *squeeze* yang diberikan pada waktu operasi. Tekanan ideal sekitar 50 – 70 MPa merupakan *best practice* untuk memproduksi *sound casting*. Cacat ini dapat dieliminir dengan menaikkan tekanan *squeeze* dimana variabel proses yang lain telah mencapai titik optimum.

Extrusion segregation adalah cacat cor yang diakibatkan segregasi mikro. Cacat ini sebetulnya sangat jarang terjadi pada pengecoran *squeeze* dibandingkan dengan jenis pengecoran lainnya. Cacat ini dapat dihindari dengan melakukan desain *dies* secara tepat, menaikkan temperatur *dies*, menggunakan *multiple gating system* atau dengan mengurangi *delay time* sebelum penutupan *dies*.

Centerline segregation adalah cacat cor yang terjadi pada pengecoran paduan aluminium tempa (*high-alloy wrought aluminum alloy*) dengan temperatur lebih rendah. Pembekuan terjadi dimulai pada dinding *dies*; dengan temperatur logam cair yang rendah, fasa *liquid* menjadi lebih terkonsentrasi dan terjebak di bagian pusat daerah ekstrusi atau daerah yang lebih padat dari coran. Cacat ini dapat dihindari dengan menaikkan temperatur *dies*, meminimalkan atau mengurangi waktu penutupan *dies* atau mengganti paduan dengan alternatif bahan lain yang setara.

Blistering merupakan cacat cor yang terjadi akibat adanya udara atau gas yang berasal dari logam cair yang terjebak di bagian bawah permukaan dikarenakan aliran turbulen pada saat pengisian rongga cetakan. Cacat ini terjadi dalam bentuk adanya pelepuhan (*blister*) pada permukaan coran pada waktu pelepasan tekanan atau proses perlakuan panas lanjut. Cacat ini dapat dihindari dengan menghilangkan gas yang terdapat pada logam cair atau dengan melakukan *pre-heating* terhadap peralatan tuang (*handling transfer equipment*), memperlambat kecepatan penutupan *dies*, memperbesar celah antara *dies* dan *punch* serta menurunkan temperatur tuang (*pouring temperature*).

Cold laps disebabkan oleh tumpang tindihnya cairan logam dengan lapisan padat (*solidified layers*) sebelumnya sehingga mengakibatkan tidak sempurnanya ikatan antar lapisan tersebut.

Hot tearing terjadi pada paduan yang memiliki rentang temperatur pembekuan yang panjang. Pencegahan terjadinya *hot tearing* adalah dengan menurunkan temperatur tuang dan menaikkan tekanan serta meningkatkan sudut kemiringan (*draft angle*) pada penuangan.

Sticking merupakan cacat berupa adanya lapisan tipis pada kulit permukaan produk cor yang menempel pada permukaan cetakan (*die surface*). Hal ini disebabkan karena cepatnya proses penuangan tanpa diimbangi dengan sistem pendinginan dan pelumasan yang baik. Untuk menghindari *sticking* dapat dilakukan dengan mengurangi temperatur cetakan atau temperatur penuangan.

Case debonding adalah cacat yang ditemukan hanya pada paduan besi tinggi (*high iron alloy*). Cacat ini dapat diatasi dengan menaikkan temperatur perkakas (*tooling temperature*), menurunkan temperatur penuangan serta menurunkan waktu penutupan cetakan.

Extrusion debonding biasanya terjadi pada coran yang mempunyai bentuk geometri yang rumit dan dalam. Dimana sebagian cairan logam pada *die cavity* tergenang menunggu sebagian cairan logam lainnya mengisi rongga yang dalam dan rumit tersebut pada saat cetakan dalam keadaan terbuka. Hal ini menyebabkan timbulnya oksida di sekitar daerah padatan yang berakibat terhalangnya ikatan antar molekul logam. Cacat ini dapat dicegah dengan menaikkan temperatur perkakas (*tooling temperature*) atau temperatur penuangan; mempersingkat waktu penutupan *die* dapat mengurangi pembentukan oksida pada *semi-liquid metal* yang berada di dalam cetakan (*die*).

4.2 Pengujian Kualitas Produk Cor Squeeze

Jenis-jenis pengujian yang dapat dilakukan pada produk cor *squeeze* meliputi: X-Ray NDT, *hardness test*, *tensile test*, SEM (*scanning electron microscope*), dan TEM (*transmission electron microscope*).

X-Ray NDT digunakan untuk memeriksa *soundness* daripada produk cor. Selain itu dapat juga dipakai untuk mengetahui komposisi unsur paduan seperti yang dilakukan pada *electron dispersive X-Ray* (EDX).

Hardness Test digunakan untuk memeriksa kekerasan permukaan produk cor. Metode yang

dapat dipakai yaitu: Brinell, Rockwell, Vickers, Knoop dan Scleroscope test. *Tensile Test* digunakan untuk memeriksa kekuatan tarik, perpanjangan (*elongation*), regangan produk cor.

SEM dan TEM adalah jenis pengujian untuk melihat foto mikrostruktur produk cor secara detail. Ketelitian ukuran mikrostruktur yang dapat dicapai oleh SEM hingga 3 μm sedangkan untuk TEM hingga 0,5 μm [Lu, 1987].

5. Kesimpulan

Sudah lebih dari 10 tahun yang lalu, proses pengecoran *squeeze* telah terbukti sebagai suatu cara yang ideal untuk memproduksi komponen injiniring dengan bentuk yang mendekati kesempurnaan serta kualitas yang tinggi khususnya bagi komponen otomotif, baik untuk material cor konvensional maupun paduan tempa.

Proses pengecoran *squeeze* membuka peluang untuk memproduksi coran yang mampu menahan stress yang tinggi. Selain itu dimungkinkan untuk memproduksi coran yang dapat diperkuat dengan fiber.

Daftar Pustaka

1. Wakil, Sherif D.E., *Processes and Design for Manufacturing*, p. 41-42, New York, Prentice Hall International Inc., 1989.
2. Hu, B.H., et al, "Squeeze Casting of Al-Si-Cu-Fe-Mn-Mg Alloy", *Journal of Processing and Fabrication of Advanced Materials VI*, Vol. 1, 1998.
3. Kalpakjian, Serope, *Manufacturing Engineering and Technology*, 3^d edition, New York: Addison Wesley, 1995.
4. Lu, Shu-Zu, "The Mechanism of Silicon Modification in Al-Si Alloy", *Journal of Metallurgical Transaction*, Vol. 18 A No. 10, p. 1721 – 1733, 1987.
5. Yue, T.M. and G.A. Chadwick, "Squeeze Casting of Light Alloys and Their Composites", *Journal of Material Processing Technology*, Vol. 58 No. 2 – 3 . 1996.
6. _____, *Metal Handbook*, 9th ed., Vol. 15, ASM, p. 323 – 326, 1993.