

STUDI PENINGKATAN SIKLUS INJEKSI DAN PENGURANGAN PROSENTASE PENYUSUTAN PADA PRODUK INJEKSI PLASTIK DENGAN MOLD TIPE LAMINATED STEEL TOOLING

Bambang Waluyo Febriantoko, Arnowo Hari Wibowo
Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani PO BOX 1 Pabelan Surakarta 57102
E mail : bambangwf@gmail.com

Abstrak

Mold tipe solid yang selama ini digunakan mempunyai keterbatasan pada sistim saluran pendinginan. Pada produk yang mempunyai bentuk rumit membutuhkan saluran pendingin yang mengikuti bentuk cavity (conformal). Saluran pendingin tipe conformal ini salah satu metode pembuatannya dengan cara laminasi tiap layer plat yang disusun dengan perekat menjadi satu kesatuan (laminated steel tooling). Perbandingan performa dari penggunaan metode saluran pendingin tipe conformal dengan laminated steel tooling dan saluran pendingin lurus dari baja solid perlu dilakukan penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan membuat 2 mold yaitu mold tipe saluran pendingin lurus dan mold tipe conformal pada bentuk produk plastik berbentuk silinder. Bahan plastik digunakan High Density Polyethylene (HDPE). Volume saluran pendingin antara saluran tipe lurus dan conformal dibuat sama. Hasil dari kedua produk dengan mold yang berbeda diteliti siklus tiap tahap dan diukur penyusutan setelah 24 jam dikeluarkan dari mold (post shrinkage). Hasil penelitian ini didapatkan siklus produk untuk sistim saluran pendinginan conformal lebih pendek dan penyusutannya lebih sedikit.

Kata kunci : Injection molding, Laminated Steel Tooling, Post Shrinkage, Conformal Cooling channel

PENDAHULUAN

Permasalahan yang umum pada industri injeksi plastik adalah adanya penyusutan pada produk hasil. Prediksi penyusutan yang tepat akan menghasilkan komponen dengan kualitas dan kepresisian tinggi. Penyusutan dipengaruhi oleh penyusutan volume, aliran dari tegangan sisa beserta orientasinya, aliran dari kristalisasi dan perpindahan panas [17]. Sistim pendinginan yang optimal akan menghasilkan gradien perpindahan panas yang merata dan akan berpengaruh pada produk hasil. Untuk mendapatkan penyusutan yang merata, pentingnya efisiensi sistim saluran pendingin. Saluran pendingin tipe conformal salah satu jenis yang efisien dalam mendinginkan produk secara merata. Penerapan sistim pendinginan conformal telah dicoba oleh beberapa peneliti. Ferreira dan Mateus [9] menggunakan metode *soft tooling* dengan resin *epoxy* untuk mencetak mold yang didalamnya ada saluran pendingin *conformal*. Pencetakan mold dengan *3D printing* dilakukan oleh Sachs [22], [28], [5] dengan membuat *green body* dari serbuk paduan tembaga yang didalamnya ada saluran pendingin conformal. Guna mengaplikasikan sistim pendinginan *conformal* yang murah dapat dilakukan dengan cara laminasi plat baja yang disusun menjadi satu kesatuan.

Pelopop metode laminasi ini diawali sejak tahun 1979 oleh Profesor Nakagawa yang dipublikasikan sejak tahun 1980 dengan aplikasi mold untuk baja, aluminium dan *soft tooling* [9], [11], [15], [18], [19]. Dalam beberapa tahun kedepan mulai muncul beberapa grup penelitian selain Profesor Nakagawa, seperti dari grup Warwick University [2], [3], [27] yang mempunyai fokus pada laminasi plat baja baik skala kecil sampai pada industri dirgantara. Grup lainya yang fokus pada *stereolithography* dan pengaruh penyusutan pada injeksi molding.

Dalam usaha untuk mengaplikasikan pendinginan *conformal*, laminasi brazing bahan Aluminium yang dilakukan dengan memberikan *filler* ditengahnya dan diberi tekanan selama pemanasan pada suhu 610°C selama 1 jam telah terjadi *diffusion bonding* yang erat sehingga air pendingin tidak masuk ke dalam mold [11]. Uji coba pada bahan *mild steel* dilakukan oleh Febriantoko & Tontowi [7] dengan cara metode brazing *mild steel* dengan *filler* tembaga pada suhu 1100°C dengan waktu tahan di dalam furnace selama 30 menit. Bryden [3] melakukan brazing bahan *mild steel* dengan *filler* Ag-Cu-Zn-Sn pada tekanan 1,7 MPa dengan suhu 720°C. Laminasi menggunakan perekat epoxy yang diperlakukan pada beberapa kondisi lingkungan diteliti oleh Febriantoko & Tontowi [8],

menunjukkan bahwa hasil uji mekanik menunjukkan kekuatan lebih kecil dari metode brazing. Perbandingan kekuatan mekanik antara perekat epoxy dengan filler tembaga pada proses brazing diteliti oleh Partono & Febriantoko [20] menunjukkan kekuatan tertinggi pada brazing, tetapi pada pengujian kebocoran air didapatkan perekat *epoxy* lebih unggul.

Secara umum penyusutan pada proses injeksi plastik dibagi dalam tiga jenis : *In mold shrinkage* adalah penyusutan yang terjadi selama proses injeksi berlangsung sebelum plastik mengalami solidifikasi, *as mold shrinkage* adalah penyusutan yang terjadi sesaat setelah plastik dikeluarkan dari cetakan, *post shrinkage* adalah penyusutan yang terjadi setelah plastik disimpan serta telah mengalami *physical aging* dan rekristalisasi [12]. Secara teoritis rumus penyusutan pada injeksi plastik diteliti oleh grup penelitian dari Jansen, [12] [13] [14] [24] [26]. Grup peneliti yang kedua adalah dari grup Isayev yaitu Kwon [16] [17]. Disamping diatas ada beberapa peneliti yang merujuk pada dua grup diatas yaitu Nezhad [23] [6], [21], [1].

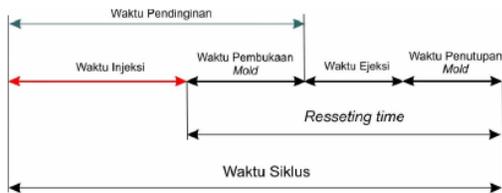
Tujuan penelitian ini adalah membuat desain *mold* yang ekonomis dengan mengaplikasikan sistem saluran pendingin *conformal* , membandingkan hasil produk dengan *mold* tipe *solid* dengan saluran pendingin lurus. Analisis produk berupa keseragaman dimensi penyusutan produk dan waktu siklus sistem.

Perhitungan penyusutan secara teoritis mengacu pada Speranza [24] :

$$S = \alpha_1[\bar{T}_s(z) - \bar{T}(z)] - \beta_1\bar{P}_s + \zeta_1[\bar{X}_c(z) - \bar{X}_s(z)] \quad (1)$$

Penyusutan (S) digunakan sebagai notasi, α merupakan koefisien linier ekspansi, β adalah *compressibility*, T_s adalah suhu cavity, T merupakan suhu udara sekitar, P_s adalah tekanan rata-rata didalam cavity, ξ merupakan jarak rata-rata kristal, X_c adalah derajat kristalisasi

Waktu siklus dalam penelitian ini dihitung mulai dari injeksi dan pendinginan sampai dengan penutupan *mold cavity* . *Mold* didinginkan mulai dari tahap injeksi plastik sampai pembukaan *mold* . Sehingga waktu pendinginan sama dengan waktu injeksi ditambah waktu pembukaan *mold cavity* .

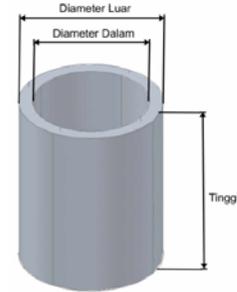


Gambar 1. Komponen waktu siklus injeksi

METODE PENELITIAN

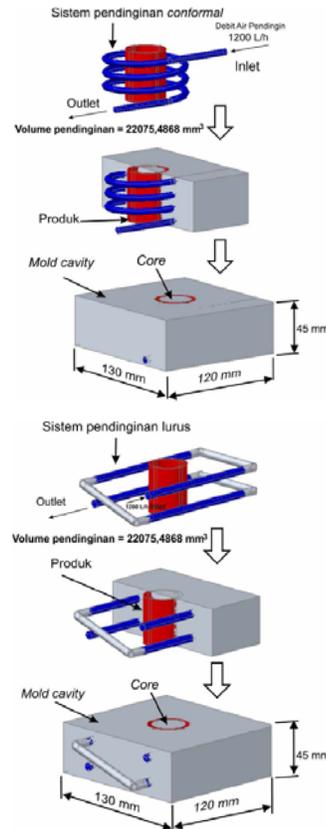
Penelitian ini dijalankan dengan membuat produk yang berbentuk silinder seperti pada Gambar 1. Produk yang dihasilkan menggunakan dua buah *mold* dengan saluran pendingin tipe lurus dan saluran pendingin tipe *conformal* seperti pada Gambar 2. Pada *mold* dengan saluran pendingin *conformal* , pembuatannya dengan

metode *Laminated Steel Tooling* . Hasil dari kedua *mold* diatas dilakukan analisis penyusutan produk pada arah *paralel flow* (tinggi) dan arah *perpendicular flow* (arah diameter) serta perhitungan siklus injeksi.



Spesifikasi Produk Silinder		
Dimensi produk	Diameter luar	36 mm
	Diameter dalam	29 mm
	Tinggi/panjang	45 mm
	Tebal	3.5 mm
Bahan	High Density Polyethylene (HDPE)	

Gambar 2. Ukuran produk

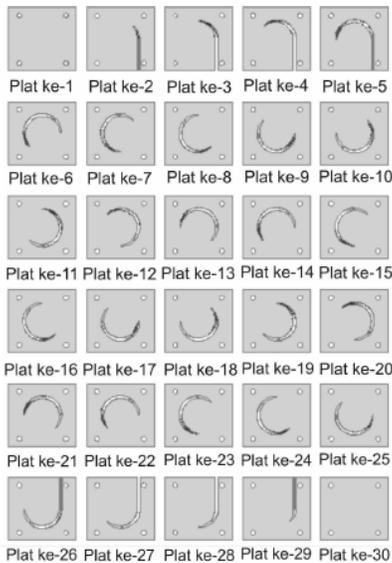
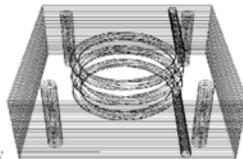
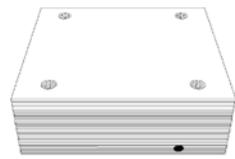


Gambar 3. Skema Sistem pendinginan lurus dan conformal

Variable penelitian ini adalah membandingkan dua produk yang dihasilkan dari *mold* saluran pendingin lurus dan saluran pendingin conformal dengan membuat produk masing masing sebanyak 12 buah.

Proses Pembuatan Laminated Steel Tooling

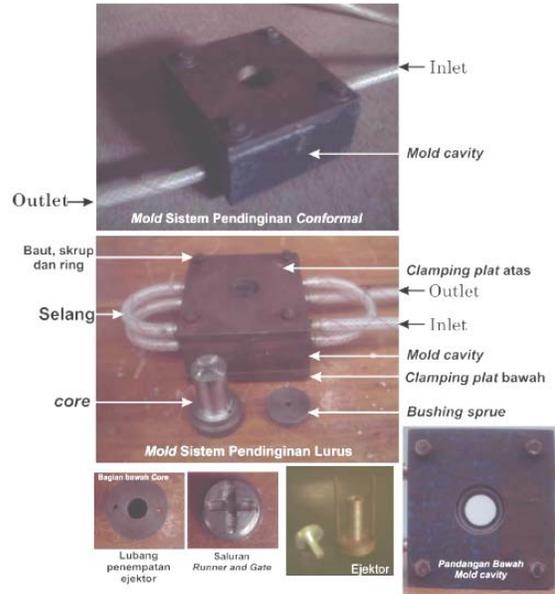
Pembuatan *mold* tipe saluran pendingin conformal dilakukan disain dengan CATIA V5 R15. Tiap layer dari disain dilakukan proses permesinan menggunakan mesin CNC. Ketebalan masing masing layer 1,6 mm, seperti pada Gambar 4. Setelah tiap layer selesai dibuat kemudian dilaminasi dengan menggunakan perekat *Epoxy* pada kedua sisinya, dan dipres pada tekanan 1,7 MPa [4],[8] dengan menggunakan kunci torsi pada baut keempat sisinya. Proses selanjutnya dilakukan curing pada suhu ruang selama 16 jam. Setelah *mold* kering dilakukan proses pembuatan lubang untuk *cavity* dengan mesin milling dan dipasangi silinder liner pada lubang *cavity* untuk menjaga kehalusan permukaan *cavity*.



Gambar 3.6. Desain alur pendinginan conformal setiap plat

Gambar 4 Laminasi plat baja

Instalasi saluran pendingin untuk *mold* tipe conformal terdapat 1 saluran masuk dan satu saluran keluar, terlihat pada Gambar 5. Sedangkan untuk saluran pendingin lurus terdapat satu saluran masuk dan keluar yang saling bersilangan.



Gambar 3.50. Komponen-komponen mold

Gambar 5 Sistem pendinginan lurus dan conformal

Alat Dan Bahan

Proses injeksi plastik menggunakan mesin injeksi skala laboratorium dengan kapasitas 2 ton dan volume injeksi 500 ml. Jangka sorong merek Mitutoyo digunakan untuk pengukuran dimensi produk setelah disimpan dalam ruang selama 24 jam.

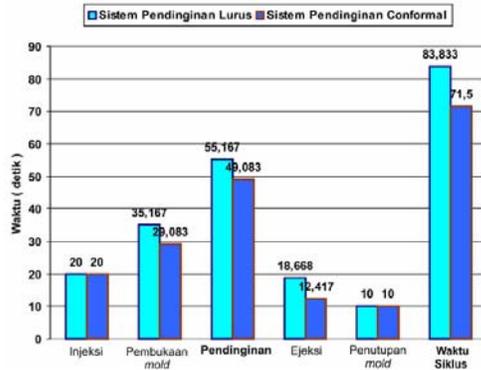
Pembuatan produk ini digunakan bahan *High Density Polyethylene* (HDPE) pada suhu 165°C dengan tekanan injeksi 140,7 KPa, bahan plat *cavity* untuk proses laminasi lembaran baja St. 37, Silinder pada *cavity* dan *core* digunakan bahan dari PT. Assab Steel Indonesia grade 760. Volume saluran pendingin sebesar 22075 mm³. Kunci Torsi merek Britool kapasitas 70 N/m² untuk mengukur tekanan proses perekatan lem *epoxy*. Lem *epoxy* yang digunakan merek Devcon Plastic Steel tipe S-5. Air pendingin digunakan air sumur dengan suhu 24°C.

Metode pengukuran penyusutan menggunakan cara dari Jansen [12]:

$$S = \frac{d\ mold - d\ produk}{d\ mold} \times 100\% \quad (2)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran suhu permukaan *mold* rata-rata selama proses injeksi, untuk saluran pendinginan *conformal* suhunya 40,1°C dan saluran pendinginan lurus suhunya 34,8°C.



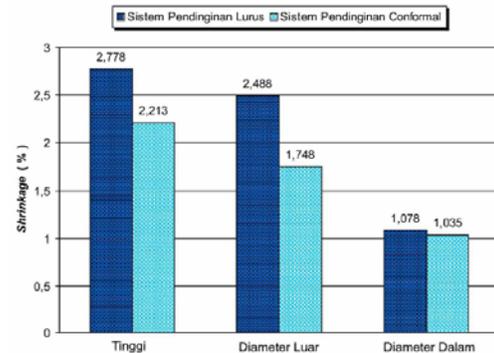
Gambar 6 Grafik Waktu Siklus Injeksi

Grafik pada Gambar 6 memperlihatkan waktu pendinginan memberikan yang pengaruh paling besar terhadap waktu siklus. Rata-rata waktu pendinginan pada sistem pendinginan lurus adalah 55,167 detik dan rata-rata waktu pendinginan pada sistem pendinginan *conformal* adalah 49,083 detik.

Untuk *mold* sistem pendinginan lurus, rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh mesin untuk membuat satu produk adalah 83,833 detik. Sedangkan dengan menggunakan *mold* sistem pendinginan *conformal*, rata-rata waktu yang dibutuhkan oleh suatu mesin untuk membuat satu produk adalah 71,5 detik. Pendinginan berpengaruh terhadap penyusutan produk dan penyusutan tersebut membuat produk mudah dikeluarkan dari *mold cavity*. Sehingga semakin produk cepat menyusut semakin cepat pula mengeluarkan produk dari *mold cavity*, artinya *mold cavity* dapat cepat dibuka.

Sistem pendinginan *conformal* akan menghasilkan distribusi gradien suhu pada *cavity* yang lebih merata sehingga suhu pada *mold* lebih cepat dingin dibandingkan dengan saluran pendingin lurus. Pemerataan distribusi gradien suhu ini akan membuat *mold* saluran *conformal* lebih dingin sehingga penyusutan akan lebih kecil berdasarkan persamaan (1). Hasil yang sama ditunjukkan pada penelitian yang dilakukan Wimpenny [27], Sachs [22].

Pada sistem pendinginan lurus, rata-rata penyusutan dimensi panjang produk sebesar 2,778 %, penyusutan dimensi diameter luar produk sebesar 2,488 %, dan penyusutan diameter dalam produk sebesar 1,078 %. Pada sistem pendinginan *conformal*, rata-rata penyusutan dimensi panjang produk sebesar 2,213 %, penyusutan dimensi diameter luar produk sebesar 1,748 %, dan penyusutan diameter dalam produk sebesar 1,035 %.



Gambar 7 Grafik Penyusutan produk

Perbedaan penyusutan dimensi produk pada percobaan antara sistem pendinginan lurus dengan sistem pendinginan *conformal* secara signifikan terjadi pada dimensi panjang dan diameter luar produk (Gambar 7). Sedangkan untuk penyusutan dimensi diameter dalam produk tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan dengan adanya variasi sistem pendinginan. Hal ini terjadi karena sistem pendinginan hanya mendinginkan bagian *mold cavity* yang kontak dengan diameter luar saja, sedang pada bagian *core* yang membentuk diameter dalam produk tidak ada sistem pendinginan dan variasi sistem pendinginan.

KESIMPULAN

Presentase penyusutan dimensi produk pada sistem pendinginan *conformal* lebih kecil jika dibandingkan dengan penyusutan pada sistem pendinginan lurus. Ini membuktikan bahwa sistem pendinginan *conformal* mempunyai kontribusi dan lebih optimal dalam mengendalikan penyusutan dimensi produk. Penurunan suhu didalam *cavity* pada sistem pendinginan *conformal* membuat waktu buka dari *ejector* lebih cepat sehingga siklus waktu pembuatan lebih pendek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alam K., Kamal M.R., 2004, Runner Balancing by a Direct Genetic Optimization of Shrinkage, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 44, Iss 10, pp 1949
- [2] Bryden, B.G., Pashby, I.R., 2001, Hot Platen Brazing to Produce Laminated Steel Tooling, *Journal of Material Processing Technology* 110 206-210
- [3] Bryden, B.G., Pashby, I.R., Wimpenny, D.I., Adams, C., 2000, Laminated Steel Tooling in Aerospace Industry, *Material and Design* 21 403-408
- [4] Chester, R.J., Roberts, J.D., 1989, Void Minimization in Adhesive Joints, *Journal Adhesion and Adhesives*, Vol. 9 No3.
- [5] Dimla D.E, Camilotto M., Miani F., 2005, Design and Optimization of Conformal Cooling Channel in Injection Moulding Tools, *Journal of Material*

- Processing Technology*, Vol. 164-165, pp. 1294-1300
- [6] Fathi S., Bahravesh A.H., 2007, Visualization of in Mold Shrinkage in Injection Molding Process, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 47, Iss 5, pp 750
- [7] Febriantoko B.W., Tontowi A. E., 2005 Pengaruh Plastik Cair dan Suhu Air Rendaman Pada Kekuatan Mekanis Laminasi Plat Baja, *Prosiding Seminar Nasional Ilmu dan Teknologi Bahan*, UGM Yogyakarta
- [8] Febriantoko B.W., Tontowi A. E., 2005, Perbandingan Metode Laminasi Adhesive Bonding Dan Brazing Pada Plat Baja Untuk Mold Mesin Injeksi Plastik, *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa, Aplikasi dan Perencanaan Industri*, UMS Surakarta
- [9] Ferreira, J.C., Mateus, A., 2004, Studies of Rapid Soft Tooling With Conformal Cooling Channels for Plastic Injeksi Molding, *Journal of Material Processing Technology* 142 508-516
- [10] Harper, C.A., 1996, *Handbook of Plastics, Elastomers and Composites*, McGraw-Hill
- [11] Himmer, T., Nakagawa, T., Anzai, M., 1999, Lamination of Metal Sheets, *Computer in Industry* 39 27-33
- [12] Jansen K.M.B., Pantani R., Titomanlio G., 1998, As-Molded Shrinkage Measurement on Polystyrene Injection Molded Products, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 38, Iss 2, pp 254
- [13] Jansen K.M.B., Titomanlio G., 1996, Effect of Pressure History on Shrinkage and Residual Stresses-Injection Molding With Constrained Shrinkage, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 36, Iss 15, pp 2029
- [14] Jansen K.M.B., Van Dijk D.J., Husselman M.H., 1998, Effect of Processing Condition on Shrinkage in Injection Molding, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 38, Iss 5, pp 838
- [15] Jeng, J.Y. dan Lin, M.C., Mold Fabrication and Modification Using Hybrid Processes of Selective laser Cladding and Milling, 2001, *Journal of Material Processing Technology* 110 98-103
- [16] Kwon K. , Isayev A.I. , Kim K.H., 2006, Theoretical and Experiment Studies of Anisotropic Shrinkage in Injection Molding of Various Polyester, *Journal of Applied Polymer Science*, Vo. 102, pp 3526-3544
- [17] Kwon K., Isayev A.I., Kim K.H., 2005, Toward a Viscoelastic Modeling of Anisotropic Shrinkage in Injection Moldin of Amorphous Polymers, *Journal of Applied Polymer Science*, Vo. 98, pp 2300-2313
- [18] Mueller, B.dan Kochan, D., 1999, Laminated Object Manufacturing for Rapid Tooling and Pattermaking in Foundry Industry, *Computers in Industry* 39 47-53
- [19] Muller, H. dan Sladojevic, J. 2001, Rapid tooling approaches for Small lot Production of Sheet metal parts, *Journal of Material Processing Technology* 115 97-103
- [20] Partono P., Febriantoko B.W., 2007, Pengaruh Jenis Perekat Terhadap Kekuatan Mekanis Sambungan Laminasi Plat Baja Untuk Bahan Pembuat Mold Mesin Injeksi Plastik, *Proceeding of the Research and Studies VI, TPSDP (ADB Loan no 1792-INO) DIKTI*
- [21] Pomerleau J., Sanschagrín B., 2006, Injection Molding Shrinkage of PP: Experiment Progress, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 46, Iss 9, pp 1275
- [22] Sachs E., Wylonis E. , Allen S., Cima M., Guo H., 2000, Production of Injection Molding Tooling With Conformal Channels Using the Three Dimensional Printing Process, *Polymer Engineering Science*, Vol. 40, Iss. 5, pp. 1232
- [23] Shelesh-Neshad K, A. Taghizadeh, 2007, Shrinkage Behaviour and Mechanical Performance of Injection Molded Polypropylene/Talc composites, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 47, Iss 12, pp 2124
- [24] Speranza V., Pantani R., Besana G.B., Titomanlio G., 2007, Anisotropic Shrinkage of Injection Molded PolyVinylidene Flouride Samples, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 47, Iss 11, pp 1788
- [25] Tari, M.J., Bals, A., Park, J., Lin, M.Y., Hahn, H.T., 1998, Rapid Prototyping of Composite parts Using Resin Transfer Molding and laminated Object Manufacturing, *Composites Part A* 29A 651-661
- [26] Titomanlio G., Jansen K.M.B., 1996, In-Mold Shrinkage and Stress Prediction in Injection Molding, *Polymer Engineering and Science*, Vol. 36, Iss 15, pp 2041
- [27] Wimpenny, D.I., Bryden, B., Pashby, I.R., 2003, Rapid Laminated Tooling, *Journal of Material Processing Technology* 138 214-218
- [28] Xu X., E. Sachs, S. Allen, 2001, The Design of Conformal Cooling Channels in Injection Molding Tooling, *Polymer Engineering Science*, Vol. 41, Iss. 7, pp. 1265