

# **Emprego de Forno Convencional para Fusão de Seringas Hipodérmicas com o Encapsulamento das Agulhas**

Ted Fortner, Heather Heffner, and Prof. Jonathan Colton\*

Georgia Institute of Technology

School of Mechanical Engineering

Atlanta, GA 30332-0405 USA

October 2, 2003

## **ABSTRATO**

São apresentados os resultados de um estudo para determinar as condições de tempo e temperatura necessárias para fundir seringas de injeção tipo padrão. As seringas de polipropileno são fundidas a fim de constituir um bloco sólido de material que encapsula as agulhas hipodérmicas de aço inoxidável presas às seringas, adequando-as para subsequente processamento e transformação em outros produtos. O resultado desejado foi alcançado após duas horas à temperatura de 200°C e pode ser facilmente reproduzido em locais simples, como uma clínica rural num país em desenvolvimento.

\* autor para correspondência: [jonathan.colton@me.gatech.edu](mailto:jonathan.colton@me.gatech.edu)

## **INTRODUÇÃO**

Nos últimos anos, vem ocorrendo um grande aumento no uso de seringas descartáveis em países em desenvolvimento. A maior disponibilidade de assistência médica, em especial a medicina preventiva na forma de vacinação, contribuiu para esse aumento significativo. O maior número de seringas gerado deve-se em parte à UNICEF (A Aliança Global para Vacinação e Imunização [The Global Alliance for Vaccines & Immunization]) e à WHO (Organização Mundial da Saúde [World Health Organization]), que incentivam o uso exclusivo de seringas descartáveis até o final de 2003 (1). Embora essas seringas tenham sido projetadas para serem usadas apenas uma vez e em seguida descartadas, isso nem sempre ocorre. Muitas vezes, as agulhas são descartadas de maneira inadequada e vêm a causar perfurações acidentais. Também tem

sido constatado que as seringas e agulhas descartáveis são freqüentemente usadas várias vezes sem qualquer tipo de esterilização (2). Na falta de um sistema para o descarte eficiente de agulhas e seringas usadas, é difícil garantir que estas não sejam reutilizadas e dessa forma representar uma ameaça à comunidade, pela exposição de agulhas contaminadas. Nessas circunstâncias, a transmissão de doenças transmissíveis pelo sangue, tais como a Imunodeficiência Humana (HIV), a hepatite B e a hepatite C, podem se desenvolver a taxas alarmantes e aos poucos dizimar comunidades (3).

A incineração tem sido um método usado comumente para a destruição de agulhas e seringas descartadas. Uma de suas vantagens é a redução total do volume de detritos quando o equipamento de incineração é mantido e operado adequadamente. A incineração também elimina de maneira eficiente as doenças perigosas que estão freqüentemente presentes em agulhas ou seringas usadas. No entanto, esse método de destruição não é mais aceitável em muitas regiões do mundo, devido ao grande aumento que vem ocorrendo na quantidade de seringas e agulhas que precisam ser destruídas, a necessidade de manusear os perfuro-cortantes descartados, os efeitos de uma combustão mal-regulada sobre o meio ambiente, e o lixo perigoso (4). O método ideal de descarte deveria não somente eliminar os resíduos perigosos como transformar as seringas contaminadas em material que possa ser empregado na criação de novos produtos, dessa forma contribuindo para a economia da região onde for adotado.

Esta pesquisa estudou as condições necessárias para fundir as seringas de polipropileno e encapsular as agulhas de aço inoxidável com a utilização de um molde metálico, de modo a impedir a sua reutilização, reduzir o volume desse lixo, impedir a reutilização das seringas e agulhas e as perfurações acidentais resultantes, além de oferecer uma maneira adequada de reprocessar o material resultante em produtos úteis. Foi feito um monitoramento da temperatura das seringas em função do tempo a fim de garantir a fusão completa do material plástico e a total esterilização da massa de material. Além disso, foi calculada a quantidade de energia necessária para levar a cabo essas etapas. Futuramente, esses resultados serão úteis para a elaboração de projetos e sistemas de descarte para uso local nas nações em desenvolvimento, onde atualmente escasseiam os métodos de descarte.

## **EQUIPAMENTO**

As seringas de polipropileno utilizadas eram de fabricação da Becton Dickinson (Franklin Lakes, NJ, USA) com capacidade de 3 mL. As agulhas também eram fabricadas pela Becton Dickinson, nos calibres 18 (18G1 nº305195), 23 (23G1 nº305145) e 25 (25G1 nº305125), do tipo ‘slip-tip’ [ponta de encaixe deslizante]. Para fundir as seringas foi usado um forno de ar quente (convecção) modelo HAFO 1602, fabricado pela VWR International, West Chester, PA, USA. Foram utilizados termopares (calibre 24, tipo J) soldados com fios Omega FF-J-24 (Stamford, CT) com um Monitor de Termopares (DP 116-JF1 ou DPI 116-JC1) para monitorar a temperatura na amostra que estava sendo fundida. Como moldes, nos testes preliminares foram usadas formas descartáveis de alumínio para assar “Hefty E-Z Elegance” (Pactiv Corp., Lake Forest, IL) e nos testes finais uma forma de assar não-aderente, fabricada pela Wilton (Woodridge, IL), com 235 mm x 133 mm x 70 mm (comprimento x largura x altura).

## **PROCEDIMENTO**

Os testes preliminares, usando as placas de alumínio Hefty foram realizados para estudar a densificação do material, as propriedades gerais de fusão das seringas e sua capacidade de encapsular as agulhas. As seringas foram colocadas na placa e em seguida num forno aquecido até 200°C. As seringas foram monitoradas para determinar o tempo necessário para fusão completa. Os resultados desses testes foram utilizados para a determinação do procedimento nos testes finais. Os procedimentos para os testes finais, que empregaram as formas de assar de aço fabricadas pela Wilton Baking, foram os seguintes:

1. O forno foi aceso e regulado para 200°C.
2. Foi colocado um termopar no centro da forma de assar.
3. As tampas das seringas foram removidas e as agulhas presas às seringas. As proteções das agulhas foram removidas.
4. As capas das seringas, as proteções das agulhas e as seringas com as agulhas adaptadas foram colocadas aleatoriamente na forma.
5. A forma foi colocada no forno.
6. A forma foi deixada no forno durante uma hora após a temperatura do material atingir 170°C pelos padrões de esterilização em autoclave seca (5).

## **RESULTADOS EXPERIMENTAIS**

### Testes de fusão

Os testes preliminares foram realizados com um pequeno número de seringas, geralmente de 10 a 20, para determinar como a massa fundida iria se densificar e se adaptar ao molde. Após cerca de 20 minutos no forno a 200°C, as seringas estavam completamente derretidas e se adaptavam muito bem ao desenho floral em relevo das formas de assar Hefty E-Z Elegance. Nesses testes as agulhas ficaram completamente encapsuladas, sem agulhas expostas.

Os testes finais foram realizados com 100 seringas para simular o processamento de uma caixa de coleta cheia de perfuro-cortantes descartados. A finalidade do Teste nº 1 foi determinar o tempo necessário para a forma contendo as seringas (sem as agulhas) atingir 170°C no forno regulado para 200°C depois das seringas terem sido colocadas dentro do material. A Figura 1 mostra o gráfico tempo vs. temperatura.

Conforme pode ser observado, a temperatura das seringas (triângulos) alcançou 170°C após 45 minutos, aproximadamente, e acompanhou relativamente bem a temperatura do forno medida pelo controle de temperatura (quadrados). O forno foi reajustado para baixo, em 170°C depois da forma ter atingido aquela temperatura. A Figura 2 mostra o bloco de material resultante, que se adaptou ao formato da forma. Suas dimensões finais foram 210 mm de comprimento por 108 mm de largura e 19 mm de espessura. Na figura a cor azul corresponde às tampas, o branco, às seringas e êmbolos, as letras pretas são das marcações nas seringas, e os círculos pretos das pontas de borracha dos êmbolos. O fio marrom é o termopar. Testes subsequentes foram realizados com o forno a 200°C antes da forma ser introduzida, a fim de minimizar o tempo total do ciclo.

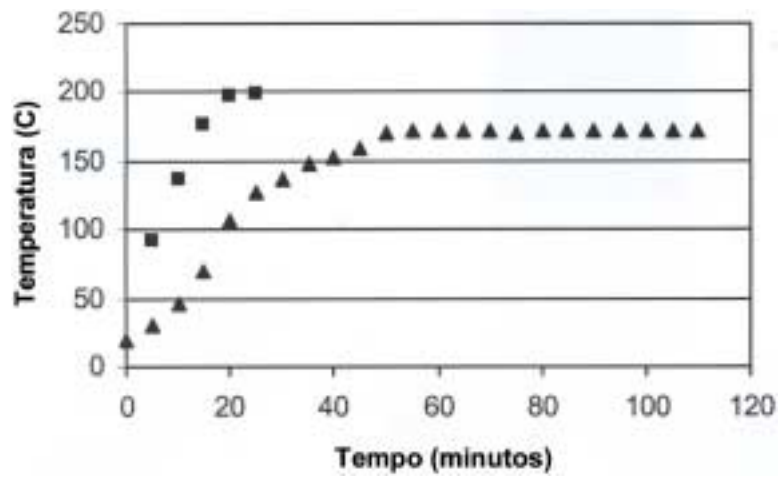


Figura 1: Teste 1 (▲ = temperatura do material; ■ = temperatura do forno)

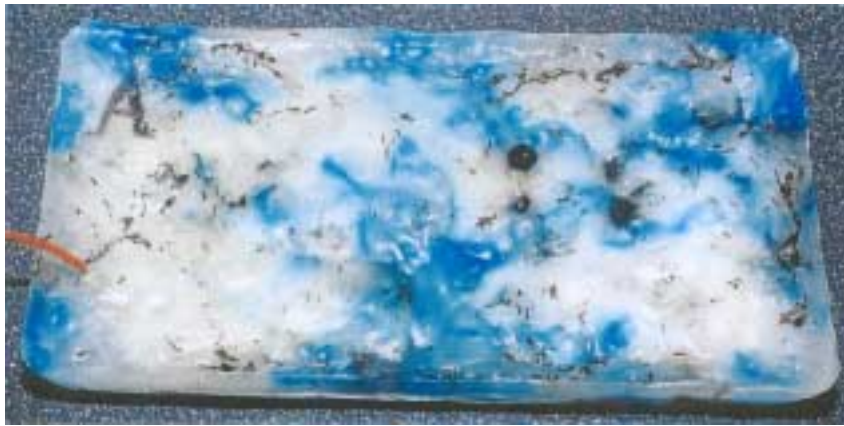


Figura 2a: Vista de topo do bloco resultante do Teste 1

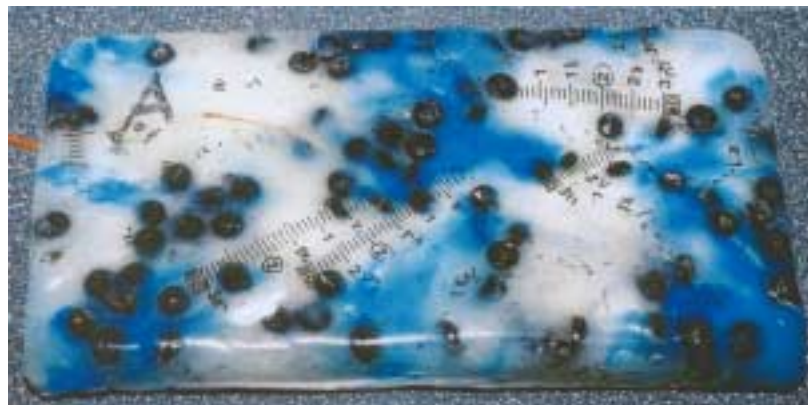


Figura 2b: Vista do fundo do bloco resultante do Teste 1

O Teste nº 2, com 100 seringas e 100 agulhas (72 agulhas calibre 18 e 28 calibre 23), foi realizado para determinar o tempo necessário para fundir a carga completa de um coletor de perfuro-cortantes. O gráfico tempo vs. temperatura deste teste é mostrado na Figura 3.

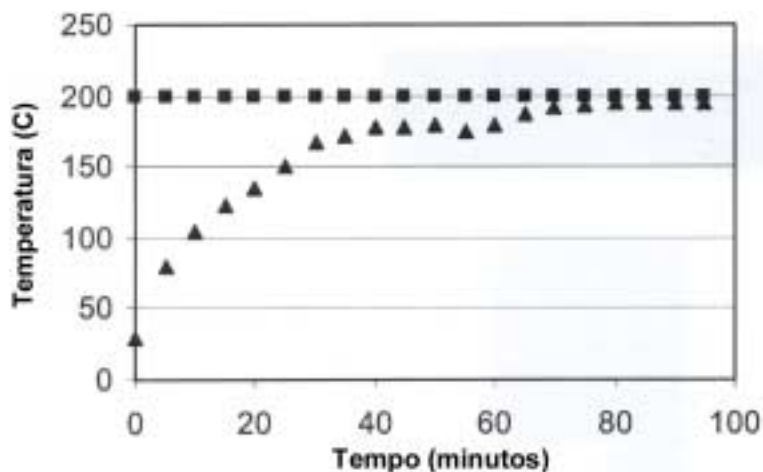


Figura 3: Teste 2 (▲ = temperatura do material ■ = temperatura do forno)

A temperatura do material (triângulos) alcançou 170°C após 35 minutos, mais rapidamente do que no Teste nº 1. Uma curva exponencial tipo ( $\exp(x)$ ) aparece à medida que a temperatura da forma com agulhas e seringas se aproxima da temperatura do forno. As Figuras 4a e 4b mostram as partes superior e inferior do bloco resultante. Novamente, o material amoldou-se bem à forma, resultando num bloco de aproximadamente 210mm x 108mm x 19 mm [comprimento x largura x espessura]. Desta vez, pode-se ver a cor rosa das capas das agulhas, assim como as agulhas que desceram até o fundo do bloco fundido. As agulhas ficaram relativamente bem encapsuladas, mas algumas pontas perfuraram a superfície do bloco.



Figura 4a: Vista da parte superior do bloco resultante do Teste N° 2

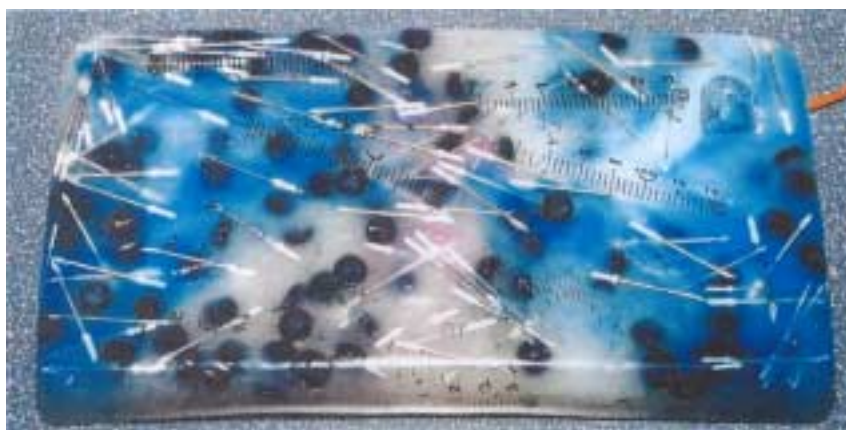


Figura 4b: Vista da parte inferior do bloco resultante do Teste n° 2

O Teste n° 3 foi realizado para investigar o comportamento tempo vs. temperatura quando as seringas ainda continham fluidos. Cem seringas e cem agulhas (45 agulhas calibre 23 e 55 calibre 25) foram colocadas aleatoriamente na forma de acordo com o procedimento acima descrito. Em dez seringas foram introduzidos 0,5 ml de água para simular fluidos remanescentes em seringas e colocados aleatoriamente na forma. A expectativa era de que o fluido entrasse em ebulição e evaporasse, deixando o produto final em estado idêntico ao da fusão anterior, embora levando mais tempo para alcançar a temperatura de esterilização. A Figura 5 mostra o gráfico tempo vs. temperatura para o Teste n° 3.

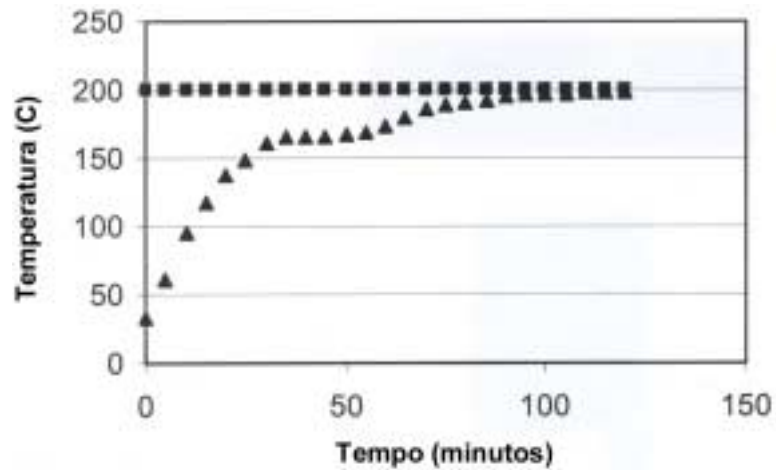


Figura 5: Teste nº 3 (▲ = temperatura do material, ■ = temperatura do forno)

Neste teste, foram necessários 55 minutos até a temperatura de 170°C ser alcançada, mais tempo do que nos dois anteriores, devido à presença da água, que aumentou a massa térmica do material na forma de assar. O bloco de plástico resultante (Figura 6) tinha a mesma aparência e dimensões do obtido no teste anterior, mostrando que os 5mL de fluido tinham evaporado totalmente. Por conseguinte, qualquer fluido remanescente nas seringas não deve inibir o ciclo de esterilização ou deixar quaisquer espaços vazios com inclusões de gás ou fluido.



Figura 6a: Vista da parte superior do bloco resultante do Teste nº 3.



Figura 6b: Vista da parte inferior do bloco resultante do Teste n° 3.

### **Densificação**

Um dos problemas que surgem no processamento de seringas é o grande volume de ar, comparado com o volume de material das seringas. Em todos os testes realizados, as seringas foram completamente derretidas. Algumas bolhas de tamanho médio (~1cm de diâmetro) estavam presentes no topo da superfície superior durante os testes preliminares. Nos testes em que a temperatura interna foi mantida a 170°C, obteve-se uma densificação quase total. Quando as formas foram retiradas do forno, pareciam estar cheias de um fluido completamente transparente, quase como se fosse água. A Tabela 1 mostra um sumário dos volumes antes e depois dos testes de fusão.

Tabela 1: Redução do volume total

<b>Teste n°</b>	<b>Volume antes da fusão</b>	<b>Volume após a fusão (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Redução de volume (cm<sup>3</sup>)</b>
1	1958	514	74%
2	2214	591	73%
3	2214	510	77%
Redução média de volume			75%

Resumindo, alcançou-se uma densificação quase total e aproximadamente 75% de redução no volume total, sem bolhas internas, ar ou fluido incorporado. Desse modo, o armazenamento e transporte de blocos de plástico ficaria mais prático e econômico do que se as seringas e agulhas descartadas fossem manuseadas no seu estado original.

#### Encapsulamento de agulhas

Nos Testes n<sup>o</sup>s 2 e 3, 100 seringas com agulhas foram colocadas aleatoriamente numa forma de assar, com as capas das seringas e das agulhas despejadas separada e aleatoriamente na forma. Devido ao ponto de fusão do polipropileno ser de aproximadamente 171°C (6), o processamento a 200°C assegura a fusão completa das seringas. Devido à sua maior densidade em relação ao polipropileno, contava-se que as agulhas de aço inoxidável descessem até o fundo da forma quando aquecidas. As amostras obtidas nos Testes n<sup>o</sup>s 2 e 3 confirmaram essa expectativa (ver figuras 4b e 6b), porquanto quase todas as agulhas estão visíveis na parte inferior da amostra. Apesar de quase todas as agulhas ficarem no fundo do bloco, algumas atravessaram a sua superfície, mas apenas o suficiente para arranhar a pele, sem perfurá-la e causar sangramento, o que criaria um risco na manipulação do bloco, risco que, no entanto, pode ser reduzido facilmente, colocando-se uma tela metálica sobre suportes no fundo da forma de assar ou molde. Isso permitiria ao polipropileno derretido atravessar a tela, retendo as agulhas acima da superfície inferior do bloco. Um outro método consistiria em revestir o fundo da forma ou molde com uma camada de plástico, de modo a impedir que as agulhas perfurassem a superfície. Mesmo com a pequeníssima quantidade de pontas de agulha protuberantes no fundo do bloco, o uso de luvas de couro ou luvas descartáveis de nitrilo seria proteção adequada contra possíveis arranhões.

## Análise da Energia

A energia necessária para aquecer as seringas de polipropileno até a temperatura de fusão (e.g., temperatura de esterilização) pode ser calculada pela Equação 1, que leva em conta a transformação (fusão) da fase sólida para a fase líquida.

$$q = mH_f + mc_p \Delta T \quad (1)$$

onde  $q$  = energia necessária (J),  $m$  = massa (kg),  $H_f$  = temperatura de fusão (J/kg),  $c_p$  = calor específico (J/kg °C),  $\Delta T$  = diferença entre a temperatura inicial e a temperatura final (°C).

A equação 2 permite calcular a quantidade de energia necessária para elevar a temperatura das formas de metal que contém as seringas plásticas e as que contém as agulhas de aço inoxidável. Neste caso, não há fusão.

$$q = mc_p \Delta T \quad (2)$$

A Tabela 2 relaciona as propriedades dos materiais de cada componente utilizado nas experiências.

Tabela 2: Propriedades dos materiais

<b>Material</b>	<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Calor específico (J/g°C)</b>	<b>Calor de fusão(J/g)</b>
polipropileno	0,9103 (ref.6)	1.789 (ref; 6)	209 (ref. 7)
borracha de butil	0,95 (ref. 8)	1.884 (ref. 8)	
aço inoxidável (310)	8 (ref. 9)	0,5 (ref. 9)	
alumínio	2,6989 (ref. 10)	0,896 (ref 10)	

A massa total de polipropileno na seringa de 3 mL e o sistema de agulha era de 4,118 gramas. A massa da ponta do êmbolo, que se presumiu ser borracha butílica, era de 0,191 gramas, e a agulha de aço inoxidável pesavam 0,039 gramas. A massa total da agulha inclui o adesivo usado para mantê-la no lugar com a ponta deslizante, mas esse valor era insignificante.

Pelas fórmulas acima transcritas, a energia total exigida para aquecer 100 seringas a partir da temperatura ambiente (20°C) até 200°C seria de 226kJ. Para a forma de alumínio, pesando 16,13g, seriam necessários 2,6kJ para elevar a temperatura até 200°C. De maneira semelhante, a forma de aço para pão, pesando 393 kg, precisaria de aproximadamente 35,4kJ para elevar sua temperatura até 200°C. Os valores para a forma devem ser somados aos correspondentes para os materiais das seringas, a fim de se determinar a energia total necessária.

No cálculo do custo total, é necessário levar em conta os tipos de combustível disponíveis no local e respectivo custo. Nesta pesquisa, foi usada a eletricidade, mas existem diversas alternativas, como as relacionadas na Tabela 3. A eficiência do processo de aquecimento também precisa ser considerada a fim de se determinar a quantidade necessária de combustível. Em seguida, será preciso conhecer o custo local dos combustíveis. De posse de todas essas informações, o custo total da fusão e encapsulamento pode ser determinado. Mas isso excede o escopo desta pesquisa.

Tabela 3: Combustíveis e correspondentes valores caloríficos

<b>Tipo de combustível</b>	<b>Valor calorífico (MJ/kg)</b>
Madeira (0% de umidade) (11)	20,4
Gasolina (12)	43,8

Querosene (12)	43,5
Propano (13)	50,4
Parafina (14)	42,4
Óleo combustível (leve) (12)	42,3
Esterco de gado (15)	17,2
Carvão mineral (antracito) (16)	30,0

## CONCLUSÕES

O uso de um forno de convecção comum para fundir seringas de polipropileno é um método eficiente e simples de obter a redução do volume total de seringas e agulhas, desativar quaisquer patógenos e encapsular agulhas a fim de assegurar o seu manuseio em segurança e impedir a sua reutilização como seringas e agulhas. O método aqui descrito pode ser adotado nos países em desenvolvimento sem a necessidade de equipamento caro ou volumoso, porquanto diversos modelos de forno podem ser fabricados com o emprego de materiais e combustíveis disponíveis na região.

## REFERÊNCIAS

- (1) "Safety of Injections: The Use of Auto-Disable Syringes in Immunization Services." World Health Organization; December 1999.
- (2) Janjua, N. Z. "Injection Practices and Sharps Waste Disposal by General Practitioners of Murree, Pakistan." *Journal of the Pakistan Medical Association*, 2003, 53(3):107-11.
- (3) Simonsen L, Kane A, Lloyd J, Zaffran M, Kane M. Unsafe injections in the developing world and transmission of bloodborne pathogens: a review. *Bull World Health Organ*. 1999, 77(10):789-800.
- (4) World Health Organization, "Wastes from Health-Care Activities, Fact sheet number 253, October 2000.
- (5) Jamani, F. et al. "Testing of Several Methods of Sterilization in Dental Practice." *Eastern Mediterranean Health Journal*, 1995, 1(1):80-86.
- (6) Brandrup, J., and E. H. Immergut. *Polymer Handbook*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975, pp. 111-216.
- (7) Brandrup, J., and E. H. Immergut. *Polymer Handbook*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1975, pp. V-24.
- (8) Bolz, R. E., and G. L. Tuve. *Handbook of Tables for Applied Engineering Science*. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc., 1973, p. 157.
- (9) Beddoes, J., and J. G. Parr. *Introduction to Stainless Steels*. Materials Park, OH: ASM International, 1999, p. 68.
- (10) *The Aluminum Data Book*. Richmond, VA: Reynolds Metals Company, 1959, p. 38.
- (11) Avallone, E. A., and T. Baumeister 111. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*. New York: McGraw - Hill, 1996, p. 7-9.
- (12) Kutz, M. *Mechanical Engineers' Handbook*. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1986, p. 1694.
- (13) Bolz, R. E., and G. L. Tuve. *Handbook of Tables for Applied Engineering Science*. Boca Raton, FL: CRC Press, Inc., 1973, p. 388.
- (14) -"Physical Science with Computers." Vernier Software, Portland Oregon, 2003.
- (15) Avallone, E. A., and T. Baumeister 111. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*. New York: McGraw - Hill, 1996, p. 7-10.
- (16) Avallone, E. A., and T. Baumeister 111. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*. New York: McGraw - Hill, 1996, p. 7-4.