ESTUDO DA DEGRADAÇÃO TÉRMICA DE EMULSÕES DE FLUIDOS DE CORTE

V. POSTAL[1], J. C. CORREIA[1], C. ASSENHEIMER[1] e R. GUARDANI[1]

[1] Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: victor.postal@usp.br

RESUMO – A influência de ciclos de aquecimento sobre o tamanho médio de gotas de emulsões de fluido de corte foi investigada. Grandes perdas de massa por evaporação mostraram-se mais impactantes para o crescimento de gotas quando comparadas a ação da temperatura para sistemas com perdas por evaporação reduzidas. A reposição contínua de massa evaporada pela adição de água destilada reduziu a taxa de crescimento, sendo esta, no entanto, superior quanto maior for a perda por evaporação a cada ciclo. Fatores intrínsecos do preparo de emulsões, como temperatura do meio contínuo e o intervalo de tempo entre adição de óleo e agitação, desempenharam papéis de grande importância para a determinação do tamanho médio de gota inicial das emulsões.

1. INTRODUÇÃO

Um dos materiais de maior importância nos processos de usinagem é o denominado fluido de corte, o qual pode ser definido como sendo líquidos ou gases aplicados na ferramenta e no material que está sendo usinado, a fim de facilitar a operação de corte (Baumeister *et al*., 1978). Neste contexto, o emprego do fluido aumenta a vida da ferramenta, minimiza a geração de calor durante o processo e auxilia na remoção dos cavacos, melhorando, assim, a eficiência do sistema produtivo (Oliveira e Alves, 2007). Por sua vez, do ponto de vista econômico e ambiental, é de grande importância o conhecimento do ciclo de vida desse tipo de material, visando-se a disposição final desse no momento e no local corretos, minimizando seu descarte.

Na indústria metal-mecânica, as emulsões de fluidos de corte estão sujeitas a ciclos de aquecimento, estando submetidas, assim, a elevadas temperaturas, o que causa a aceleração da desestabilização por meio da diminuição da viscosidade e do aumento da taxa de coalescência (Glasse *et al*., 2013). Além disso, parâmetros do processo de emulsificação, como a temperatura do meio contínuo e o intervalo de tempo entre a adição do fluido de corte e sua agitação, influenciam significativamente o tamanho médio de gota inicial, podendo interferir na vida útil das emulsões em questão.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Amostras de um fluido de corte comercial foram utilizadas no preparo de emulsões com concentração mássica de 5% de fase oleosa, sendo a fase contínua composta por água destilada. As principais características do fluido de corte utilizado estão resumidas na Tabela 1:

Tabela 1 - Propriedades do fluido de corte utilizado no estudo (Jokisch, 2012)

Propriedade	Valor
Viscosidade cinemática a 20 °C (mm^2/s)	70
Densidade a 20 °C (kg/m^3)	960
pH (5%)	8,9
Cor	Marrom
Conteúdo de óleo (%)	40
Índice de refração	1,35

As emulsões foram preparadas em béqueres de vidro borossilicato e respeitou-se uma rotina selecionada de modo a tornar os ensaios reprodutíveis, a qual era composta pelas seguintes etapas:

1. Pesagem da água destilada em balança analítica;
2. Tara da balança e adição do fluido de corte sobre a superfície da água até se completar a massa total de emulsão;
3. Agitação manual imediata após a adição do fluido de corte.

Os passos descritos anteriormente mostraram-se de grande importância para a produção de emulsões com tamanhos médios de gota semelhantes, uma vez que alguns parâmetros característicos do processo de emulsificação, como o intervalo de tempo entre a adição do fluido de corte e a agitação, desempenharam um papel relevante na fase de preparo das amostras.

2.1. Estudo da Desestabilização Térmica de Emulsões Submetidas a Ciclos de Aquecimento em Sistema Aberto

Para o estudo da influência de ciclos de aquecimento no processo de degradação em questão, foram preparados 100 mL de uma emulsão contendo 5% em massa do fluido de corte descrito anteriormente, respeitando-se a rotina de preparo mencionada. O aquecimento se deu utilizando-se uma chapa metálica aquecida e consistiu em elevar a temperatura da emulsão até seu ponto de ebulição (entre 96 e 98 °C), mantendo-a nesta temperatura por 10 minutos e permitindo-se a perda de massa para o ambiente em forma de vapor. Visando identificar sua desestabilização, mediu-se ao final de cada ciclo de aquecimento (ou seja, quando a emulsão havia novamente atingido a temperatura ambiente) o tamanho médio de gota da emulsão utilizando-se a técnica de espectroscopia por correlação de fótons em um N4 Plus Submicron Particle Analyzer (Beckman-Coulter). Após cada

medição, a emulsão era novamente submetida a aquecimento, realizando-se ciclos até que uma perda de aproximadamente 90% de seu volume fosse atingida.

2.2. Estudo da Desestabilização Térmica de Emulsões Submetidas a Ciclos de Aquecimento em Sistema com Condensador

Visando-se verificar como apenas os ciclos de aquecimento interferem no fenômeno de coalescência de gotas, acoplou-se um condensador a um kitassato de forma a minimizar a perda de volume de uma emulsão contendo 5% em massa do fluido de corte em estudo, com um volume inicial de 100 mL. Foi realizado o aquecimento da emulsão até seu ponto de ebulição, sendo mantida esta temperatura e tendo os ciclos a duração de 1 hora. Em seguida, quando a emulsão já havia atingido a temperatura ambiente, mediu-se o tamanho médio de gota por espectroscopia por correlação de fótons. Este procedimento foi repetido até não mais se observar alteração no tamanho médio de gota.

2.3. Análise da Influência da Reposição de Água a Emulsões Submetidas a Perdas Controladas de Volume Sob Aquecimento

Uma vez verificado o gradual crescimento do tamanho médio de gota devido a perdas significativas de volume, buscou-se entender como perdas de 10% e 50% em massa afetam esta propriedade repondo-se o volume perdido de emulsão ao final de cada ciclo. Para tanto, foram preparadas duas emulsões contendo 5% em massa do fluido de corte em estudo, totalizando um volume de 90 mL cada uma. Ciclos de aquecimento foram realizados atingindo-se a temperatura de ebulição das emulsões, os quais eram finalizados quando 10% ou 50% de sua massa eram perdidos e as emulsões haviam atingido novamente a temperatura ambiente. Em seguida, media-se o tamanho médio de gota e completava-se os volumes perdidos adicionando-se água destilada, supondo-se que toda a perda de massa era proveniente apenas da evaporação do meio contínuo (água). Ao final de cada ciclo, media-se o tamanho médio de gota novamente e reiniciava-se os ciclos de aquecimento.

2.4. Análise do Efeito das Condições de Preparo de Emulsões Sobre o Tamanho Médio de Gota Inicial

Notou-se, ao longo do estudo, que dois parâmetros característicos da etapa de preparo das emulsões desempenhavam papéis de grande importância para a obtenção de determinados tamanhos médios de gota: a temperatura do meio contínuo (no caso, água destilada) e o intervalo de tempo decorrido entre a adição do fluido de corte sobre a superfície da água e sua agitação. Com o intuito de se verificar a importância desses parâmetros para a obtenção de tamanhos de gota específicos e como a reprodutibilidade dos ensaios é afetada durante a rotina de preparo das emulsões, planejaram-se experimentos variando-se ambos os parâmetros e medindo-se o tamanho médio de gota por espectroscopia por correlação de fótons. Para cada temperatura selecionada, eram preparadas emulsões cujos intervalos de tempo entre adição do fluido de corte e a agitação cobriam valores entre 0 e 60 minutos.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Crescimento do Tamanho Médio de Gota em Função do Número de Ciclos de Aquecimento

O crescimento do tamanho médio de gota ao longo dos ciclos de aquecimento apresentou características distintas para os casos em que houve perda de massa por evaporação em comparação com aqueles em que se utilizou um condensador. Observou-se que a redução de volume de emulsão é um fator de grande importância para a coalescência de gotas durante os ciclos de aquecimento, notando-se também que o aquecimento por si só tem efeito menor sobre este fenômeno.

Crescimento relativo do tamanho médio de gota para um sistema com perda de massa por evaporação: Quando se permitiu a perda de volume de emulsão por evaporação, observou-se um crescimento lento do tamanho médio de gota até se atingir uma redução de 50% da massa da emulsão. Até este valor, obteve-se um aumento de apenas 11,5% em relação ao tamanho inicial de gota, igual a 26,6 nm. A partir de então, houve um aumento repentino do tamanho, como mostra a Figura 1. Os ciclos foram interrompidos quando se atingiu 90% de perda de massa, já que, devido à elevada viscosidade, tornava-se inviável a medição do tamanho de gota no equipamento disponível no laboratório.

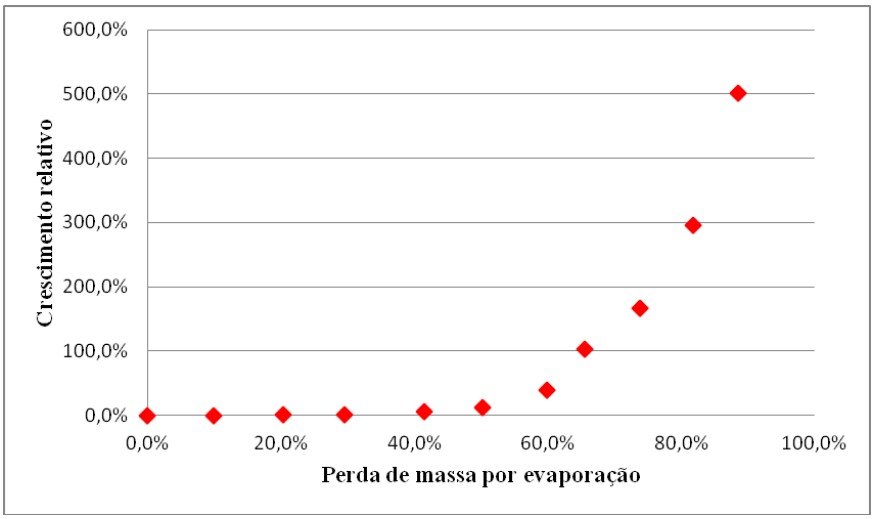

Figura 1 - Crescimento relativo do tamanho médio de gota para um sistema com perda de massa por evaporação (tamanho inicial: 26,6 nm).

Os dados mostrados na Figura 1 fornecem um indício de que elevadas perdas de massa por evaporação têm grande importância no fenômeno de coalescência de gotas, não sendo apenas a submissão da emulsão a elevadas temperaturas a razão para o aumento do tamanho médio de gotas.

Crescimento relativo do tamanho médio de gota para um sistema com condensador: Quando se diminuiu a taxa de evaporação da emulsão (para aproximadamente 2% da massa inicial), foi possível realizar ciclos de aquecimento mais longos, mantendo a emulsão em seu ponto de ebulição por intervalos de tempo maiores. Dessa forma, pôde-se verificar o efeito da temperatura, minimizando o efeito causado pela perda de massa. Os dados obtidos nos ensaios são mostrados na Figura 2.

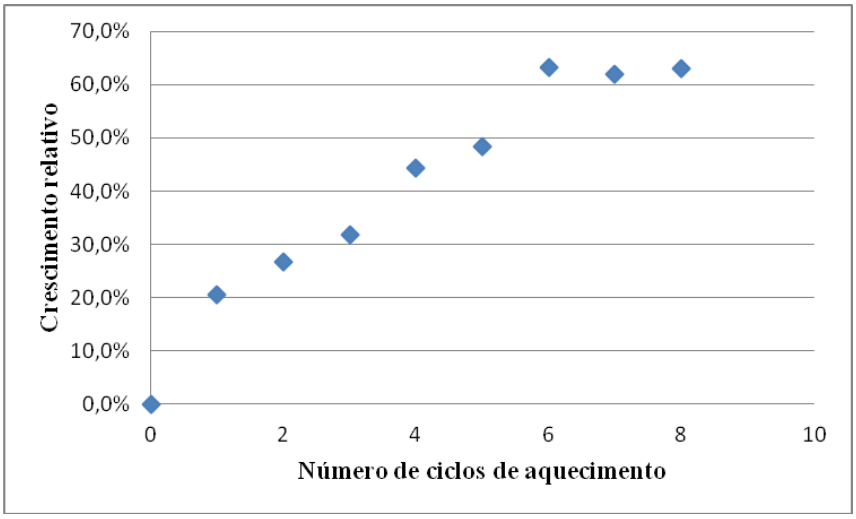

Figura 2 - Crescimento relativo do tamanho médio de gota para um sistema com condensador acoplado (tamanho inicial: 25,9 nm).

Comparando-se com os resultados da Figura 1, nota-se que foi obtido aumento relativo do tamanho de gota em ambos os casos, porém com tendências distintas. Enquanto a perda de massa foi o principal fator que desencadeou o aumento no tamanho médio de gota no primeiro caso, a exposição prolongada à temperatura de ebulição foi, aparentemente, a causa predominante do crescimento relativo quando se utilizou um condensador acoplado ao sistema. Observa-se que a soma dos tempos dos ciclos de aquecimento no caso do sistema aberto não chegou a 2 horas, total este muito inferior ao caso mostrado na Figura 2, de 6 horas. Dessa forma, observou-se que a perda de massa de emulsão, principalmente para valores superiores a 50%, causou um crescimento maior no tamanho médio de gota quando comparado ao efeito da temperatura para os casos em que se tem uma perda de massa de no máximo 2%, como mostrado na Figura 3.

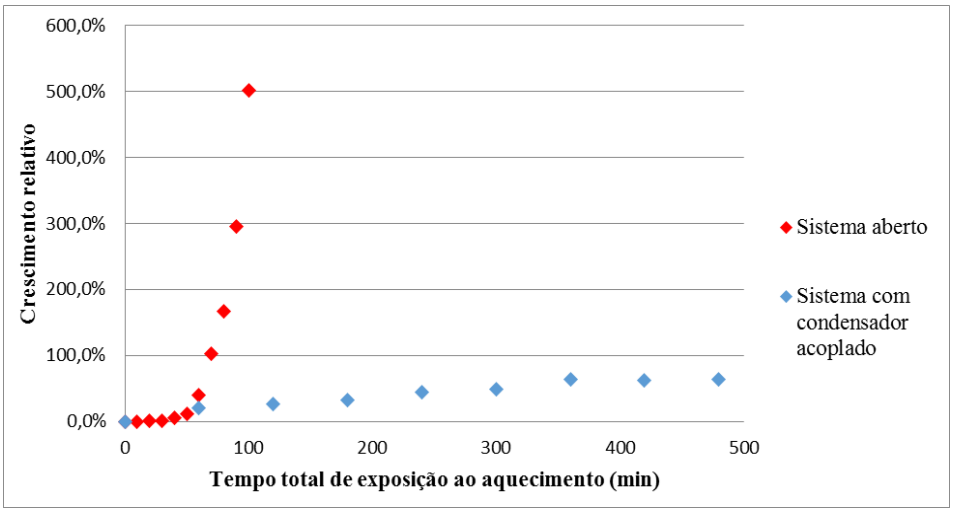

Figura 3 – Crescimentos relativos de tamanho médio de gota para emulsões aquecidas em sistemas aberto e com condensador acoplado.

3.2. Crescimento Relativo do Tamanho Médio de Gota para um Sistema Aberto com Reposição de Água

A reposição periódica de água, visando compensar a perda de massa por evaporação durante os ciclos de aquecimento, gerou um aumento progressivo no tamanho médio de gota menor do que aquele observado sem reposição de água. No entanto, verificou-se que perdas de massa de cerca de 50% do valor inicial, aceleram o processo de coalescência de gotas, mesmo repondo-se o volume perdido após cada ciclo de aquecimento. Dados obtidos para os casos em que 10% e 50% de massa eram perdidos a cada ciclo são mostrados na Figura 4.

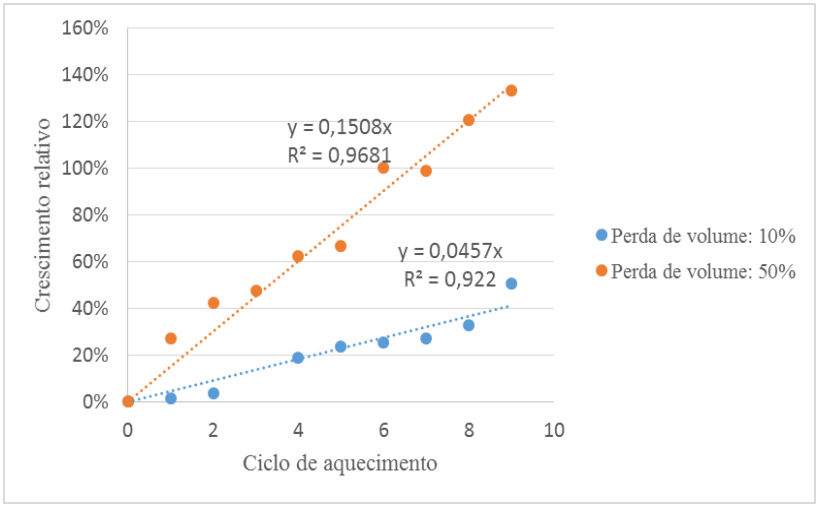

Figura 4 - Crescimento relativo do tamanho médio de gota para sistemas com reposição de água ao final de cada ciclo.

Comparando-se os resultados, nota-se que a taxa de aumento do tamanho de gota para uma emulsão submetida a perdas cíclicas de 50% de sua massa é mais de três vezes superior àquela para uma emulsão cuja massa evaporada representava 10% de sua massa total a cada ciclo. Para verificar uma possível interferência da diluição ao fim de cada ciclo, mediram-se os tamanhos de gota antes e após a reposição de água perdida; a diferença entre os valores mostrou-se não significativa.

3.3. Efeito do Processo de Preparo de Emulsões no Tamanho Médio de Gota Inicial

O tamanho inicial das gotas de emulsões de fluido de corte mostrou-se dependente da temperatura inicial da água utilizada e do intervalo de tempo entre a adição de óleo sobre a água e a agitação do sistema, como mostrado na Figura 5.

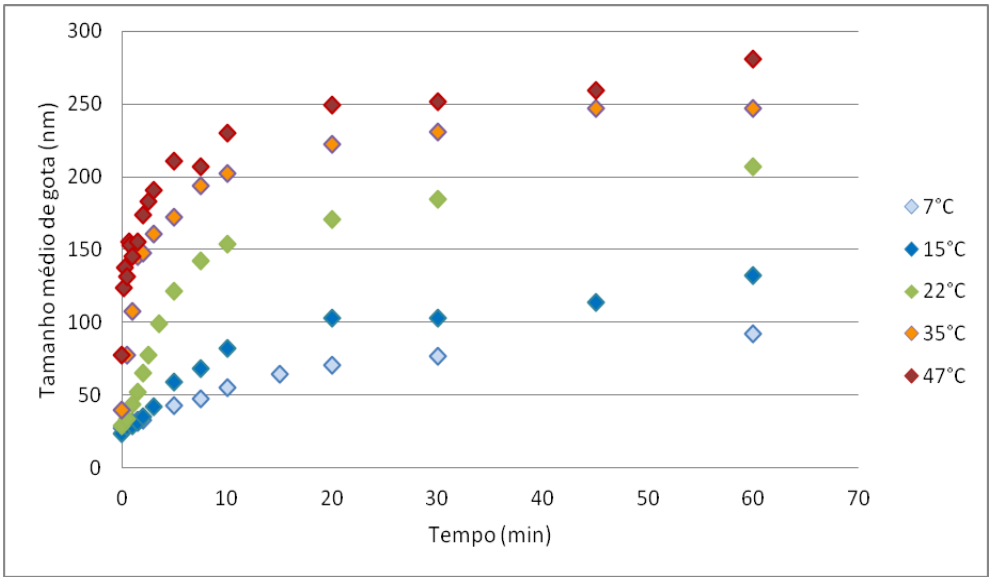

Figura 5 - Tamanho médio de gota inicial de emulsões em função do intervalo de tempo entre adição do óleo e sua agitação, para diferentes temperaturas da água utilizada.

Quanto maior for a temperatura inicial da água utilizada como meio contínuo, maior será o tamanho médio de gota inicial da emulsão, o mesmo ocorrendo para maiores intervalos de tempo entre adição de óleo e agitação. Esse aumento observado no processo de preparo pode acelerar a desestabilização das emulsões, uma vez que gotas com tamanhos menores geralmente formam emulsões mais estáveis (Schramm, 2009). Tal fato pode ter consequências no desempenho dos fluidos de corte estudados. O mecanismo causador desse fenômeno, por sua vez, está sob investigação e experimentos futuros estão programados para tanto.

4. CONCLUSÃO

A perda de massa por evaporação consequente da submissão de emulsões de fluido de corte a ciclos de aquecimento mostrou-se como um fator importante para o processo de coalescência de gotas, sendo a elevação da temperatura menos importante para o crescimento do tamanho médio de gotas quando pouco volume é perdido por evaporação. A reposição contínua de massa perdida pela adição de água destilada diminuiu a taxa de aumento de tamanho das gotas. No entanto, mesmo nestas condições, quanto maior for a massa evaporada a cada de ciclo de aquecimento, maior será a taxa de crescimento de gotas.

Considerando o processo de preparo de emulsões de fluido de corte, observou-se uma dependência do tamanho médio de gota inicial em relação à temperatura da água utilizada em seu preparo e ao intervalo de tempo decorrido entre a adição do óleo sobre a superfície da água e sua agitação, os quais podem vir a acelerar o processo de coalescência de gotas. Tais fatores devem ser observados no processo de preparo de emulsões, pois afetam o tamanho de gotas de emulsões recém preparadas, o que pode comprometer o desempenho do produto em suas aplicações.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Jokisch GmbH pela doação das amostras de fluido de corte e à CAPES, CNPq e FAPESP pelo apoio a esta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

BAUMEISTER, T.; AVALLONE, E. A.; BAUMEISTER III, T. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*. New York: McGraw Hill Book Co., 1978.

GLASSE, B.; ASSENHAIMER, C.; GUARDANI, R.; FRITSCHING, U. Analysis of the Stability of Metal Working Fluid Emulsions by Turbidity Spectra. *Chemical Engineering & Technology*, v. 36, p. 1202-1208, 2013.

JOKISCH GmbH. Jokisch Kompakt YV Neu – Technisches Merkblatt. Disponível em http://jokisch-fluids.de/uploads/Kompakt_YV_neu.pdf, 2012.

OLIVEIRA, J. F.; ALVES, S. M. Adequação ambiental dos processos de usinagem utilizando Produção mais Limpa como estratégia de gestão ambiental. *Prod.*, v. 17, p. 129-138, 2007.

SCHRAMM, L. L. *Emulsions, Foams and Suspensions: Fundamentals and Applications*. Weinheim: Wiley-VCH, 2005.