

6

Conclusões e Comentários Finais

6.1

Conclusões

Neste trabalho foram realizados estudos experimentais e simulações numéricas sobre a deposição de parafina no interior de dutos. O trabalho foi direcionado para a condução de estudos de caráter fundamental onde buscou-se, através de experimentos simples, tentar contribuir para o melhor entendimento dos mecanismos fundamentais responsáveis pela deposição de parafina no interior de dutos.

Uma detalhada revisão bibliográfica realizada como parte do presente trabalho revelou ainda não existir evidências experimentais suficiente para determinar a importância relativa dos mecanismos responsáveis pela deposição de parafina. Os mecanismos aceitos como possíveis responsáveis pela deposição de parafina são: a difusão molecular, a difusão Browniana, a dispersão por cisalhamento e a deposição gravitacional. No trabalho mais citado na área, Burger et al.[6] apresentam argumentos que mostram que a deposição gravitacional e a dispersão por cisalhamento não devem ser mecanismos relevantes. Ainda no mesmo trabalho, apresentam dados que mostram que, a importância relativa entre os mecanismos de difusão molecular, Browniana e taxa de absorção de cristais pelo depósito depende da taxa de cisalhamento do escoamento. Ao fim do trabalho, descartam a difusão Browniana em favor da difusão molecular. A partir do trabalho de Burger et al.[6] a esmagadora maioria dos trabalhos encontrados na literatura utiliza o modelo de difusão molecular, fazendo uso de constantes que são ajustadas a dados experimentais de campo. Este procedimento de ajuste aos dados contribui para mascarar a importância relativa dos mecanismos de deposição.

Baseado na análise dos trabalhos disponíveis na literatura, o presente trabalho propôs-se a desenvolver experimentos simples que permitissem avaliar a importância relativa dos mecanismos de deposição. Para isto, foram

desenvolvidas diversas seções de teste que tinham sempre um duplo objetivo:

1. Gerar dados de qualidade, à partir de experimentos bem controlados e utilizando fluidos de trabalho com propriedades conhecidas, que pudessem vir a servir como teste para modelos de simulação do processo de deposição;
2. Conduzir experimentos de visualização que pudessem capturar o movimento de cristais em direção aos depósitos, para avaliar a importância de mecanismos de deposição induzidos por escoamento ou por gradiente de concentração de cristais sólidos, como dispersão por cisalhamento ou difusão Browniana.

Para atingir os objetivos propostos, um série de seções de teste foi projetada e construída. Dois grupos de experimentos foram conduzidos: experimentos de deposição de parafina em camadas estagnadas de fluido sujeitas a gradientes de temperatura, e experimentos de deposição em canais sob regime de escoamento laminar e sujeitos a gradientes transversais de temperatura. Em ambas as classes de experimentos projetaram-se as seções de testes de modo a permitir a visualização do crescimento das camadas depositadas e seu registro em meio digital. Lentes de aproximação com aumentos variando de 1 vez a 1000 vezes foram empregadas ao longo do trabalho.

Os experimentos com deposição em cavidades contendo fluido estagnado produziram resultados para a evolução temporal da frente de deposição.

Experimentos ainda com fluido estagnado realizados com auxílio de microscópio ótico revelaram o comportamento dos cristais de parafina junto à superfície de resfriamento. Foi mostrado que para a parafina utilizada nos ensaios os cristais são na forma de lâminas hexagonais de pequena espessura. Próximo à região da parede fria, mas não exatamente na parede, os cristais crescem e movimentam-se lateralmente até que uma estrutura em forma de rede surge fixando os cristais numa estrutura rígida que progressivamente se adensa.

Não foi observada qualquer evidência de movimento de cristais na direção da parede fria como seria esperado caso a difusão Browniana estivesse presente. O aumento máximo do microscópio de cerca de 1000x foi empregado sem que este tipo de movimento pudesse ser detectado.

Experimentos de deposição sob regime de escoamento laminar e gradiente transversal de temperatura foram realizados produzindo o que parece ser um primeiro conjunto de dados disponível na literatura que revela

a evolução temporal e espacial dos depósitos de parafina. Os dados disponíveis até então foram obtidos à partir de medidas indiretas da espessura dos depósitos ou somente produziram valores para condições de regime permanente. Os dados gerados no presente estudo prestam-se para a realização de testes de validação de modelos de simulação desenvolvidos.

Os resultados obtidos nos experimentos de deposição em canais revelaram uma perfeita simetria entre os depósitos obtidos nas paredes superior e inferior do canal. Este resultado indica que os efeitos gravitacionais são realmente irrelevantes no processo de deposição. Este resultado já havia sido mostrado por Burger et al. (1981), a partir de comparações entre espessuras médias de depósitos obtidas em tubos verticais e horizontais. No presente trabalho esta conclusão foi demonstrada qualitativa e quantitativamente.

Experimentos preliminares com lentes com maior poder de aumento mostraram a existência de movimento de cristais ou pequenos aglomerados de cristais ao longo da superfície dos depósitos em formação. Estas superfícies apresentam sob as lentes de aumento geometria ondulada induzindo pequenas zonas de recirculação no fluido. Os grupos de cristais são levados a estas zonas de recirculação, onde são aprisionados passando a incorporar o depósito. Ainda não foram realizados testes suficientes para determinar a origem destes agrupamentos de cristais. É possível que estes sejam gerados pela ação do cisalhamento do fluido sobre o depósito em regiões a montante do ponto de observação da câmara. Neste caso não estaríamos diante de um mecanismo de movimentação lateral de cristais da região central do escoamento para as paredes, o que não se caracterizaria um real mecanismo de deposição. Este assunto ainda é objeto atual de investigações.

Um estudo sobre a simulação numérica de parafina foi iniciado no presente trabalho. Nesta etapa, foi desenvolvido um modelo simples para prever o crescimento do depósito de parafina em cavidade com fluido estagnado buscando reproduzir os experimentos realizados.

As simulações utilizaram a difusão molecular como o único mecanismo de deposição. Também, propriedades reais do fluido foram utilizadas, sem fazer uso de constantes empíricas para ajuste dos resultados.

Os resultados obtidos mostraram que o modelo difusivo subestimou significativamente os perfis de deposição medidos nos experimentos. Esta é uma indicação que outros mecanismos de deposição além da difusão molecular podem estar agindo.

6.2

Sugestões para Trabalhos Futuros

Como freqüentemente acontece, o trabalho realizado levantou vários aspectos que devem ser estudados em trabalhos futuros. Ficou claro que após várias tentativas dispõe-se atualmente de um conjunto de seções de teste apta a gerar uma maior massa de dados que possa auxiliar o entendimento deste complexo fenômeno de deposição de parafina em dutos. Continua-se acreditando na filosofia adotada para o trabalho que enfatiza a realização de experimentos simples de forma a não mascarar os efeitos fundamentais e facilitar o entendimento dos problemas.

Como sugestão para trabalhos futuros, pode-se mencionar a realização de ensaios de deposição sob condições de escoamento laminar onde o fluido de trabalho penetre no canal com temperatura inferior à TIAC. Neste caso é possível que diversos cristais ou grupos de cristais já estejam presentes no fluido em escoamento. O acompanhamento visual com lentes de aproximação do movimento destes cristais pode revelar algum mecanismo de transporte lateral de cristais.

No que diz respeito à modelagem da deposição de parafina, acredita-se que exista ainda um campo aberto. A verificação de modelos simples utilizando os dados gerados no presente trabalho poderia ser de grande valia para contribuir para o entendimento do fenômeno da deposição. A utilização de substâncias simples com propriedades relativamente bem conhecidas em geometrias igualmente simples com condições de contorno e iniciais bem controladas, parece o caminho ideal para testar modelos de mecanismos de deposição incorporados nos modelos globais. A partir do sucesso da previsão dos modelos desenvolvidos para escoamento laminar, acredita-se que o passo seguinte natural seria a realização de experimentos e modelagem para a deposição sob condições de escoamento turbulento.