

# Capítulo 1

## Introdução

O vertiginoso desenvolvimento dos aços microligados, particularmente no campo das aplicações estruturais, navais e petrolíferas, se deve basicamente às melhores características de tenacidade desses materiais para níveis relativamente altos de resistência mecânica e boa soldabilidade. Além disso, seu preço é mais reduzido em relação aos materiais tratados termicamente, uma vez que suas características mecânicas finais são conseguidas diretamente do calor de laminação. Sob este aspecto, a laminação controlada se revelou um tratamento termomecânico indispensável para se conseguir tais características a partir das ligas microligadas ao Nb, Ti e/ou V. Desse modo, tornou-se possível a produção de chapas grossas adequadas à fabricação de tubos petrolíferos segundo as normas API 5L-X60, X70 e até mesmo X80, desde que sua espessura de parede não ultrapasse 20 mm.

Por outro lado, aplicações que exijam níveis ainda maiores de resistência mecânica ou chapas de maior espessura, com boa tenacidade, requerem a utilização de aços microligados mais complexos. Pode-se citar como exemplos componentes para pernas de plataformas marítimas móveis, válvulas e conexões para oleodutos, peças para veículos militares e caminhões fora-de-estrada, equipamentos para poços de petróleo e componentes estruturais em vasos de guerra, incluindo submarinos. Além de características mecânicas balanceadas, este tipo de material deve ser de fácil processamento no cliente, o que inclui fácil soldabilidade, mesmo que se encontre na forma de chapas grossas pesadas, ou seja, com espessuras entre 25 e 100 mm.

Dois conceitos de liga foram propostos para se responder a esse desafio: aços microligados endurecíveis por precipitação de cobre (ASTM A710 e HSLA-80) ou pela formação de estrutura bainítica tenaz com teor ultra-baixo de carbono (ULCB - *Ultra Low Carbon Bainite*). Eles foram originalmente desenvolvidos para atender aplicações de tubos e conexões petrolíferas.

O desenvolvimento de ligas para uso naval militar baseado nestes dois novos conceitos é bastante interessante, pois os requisitos específicos desta aplicação são muito severos, o que motivou a realização de estudos bastante detalhados.

No caso específico dos aços utilizados em navios de guerra, particularmente submarinos, verificou-se nesta última década a substituição da liga utilizada tradicionalmente (aços da série HY, temperados e revenidos) por materiais microligados, da chamada série HSLA, contando com a precipitação de cobre como principal mecanismo endurecedor. Um exemplo desta nova família é o aço HSLA-80.

Essas novas ligas apresentam, por si só, menor custo que os da série HY, em função de seu menor teor de elementos de liga. Contudo, a grande vantagem decorrente de sua utilização é a soldabilidade muito superior desses novos aços, que permite redução de até 50% nos custos totais de construção das embarcações. Esse aumento de soldabilidade se deve ao baixo teor de carbono dessa nova família de ligas. De fato, esses aços vêm sendo cada vez mais aplicados nos Estados Unidos em navios de guerra mas, apesar de todo o sucesso observado, sua aplicação ainda é vedada em submarinos. Por outro lado, já há registros da aplicação extensiva de aços microligados em submarinos, inclusive nucleares, na França, Inglaterra, Suécia, Austrália e, possivelmente, na antiga União Soviética, ainda que na forma de chapas temperadas e revenidas.

Uma outra possibilidade de substituição da família HY está nos chamados aços ULCB, que podem apresentar resistência mecânica e tenacidade comparáveis às ligas originais, mas com nível de soldabilidade muito superior. Também neste caso, essa melhoria do material pode ser creditada ao teor ultrabaixo de carbono, enquanto que a resistência mecânica é proporcionada pela microestrutura bainítica aliada ao endurecimento por solução sólida de elementos de liga. Ainda não há registros de sua utilização real em embarcações militares, provavelmente por duas razões:

- O advento dos aços HSLA-80 e HSLA-100 deve ter diminuído a necessidade do desenvolvimento de novas ligas similares;
- O aço ULCB é um produto tipicamente japonês, uma vez que apenas as usinas siderúrgicas deste país conseguem produzir este tipo de liga com teor ultrabaixo de carbono de forma econômica e confiável.

A situação estratégica brasileira quanto a este tipo de material é crítica. De fato, limitações técnicas impediram a produção, no Brasil, das chapas de aço HY-80 que foram utilizadas nos submarinos construídos pela Marinha no final da década de 1980. Tal material teve de ser importado da Alemanha. Surge aí um problema potencialmente grave: há restrições políticas bastante severas que dificultam enormemente a importação de aços que possam ter propósitos militares. A maior potência siderúrgica mundial, o Japão, de fato restringe severamente a exportação de aços que comprovadamente venham a ser utilizados nesse sentido. Desse modo, um boicote conjunto de fornecedores internacionais de aços especiais poderia eventualmente estrangular qualquer programa brasileiro na área militar, inclusive naval, que dependesse desse material.

Dentro desse panorama, o objetivo deste trabalho foi contribuir para um melhor conhecimento das características desses novos aços através do estudo do efeito do processamento termomecânico na microestrutura e propriedades mecânicas dos aços HSLA-80 e ULCB, que são os materiais mais indicados para aplicações que requeiram chapas grossas pesadas com alta resistência mecânica e boa tenacidade.

Na primeira série de ensaios objetivou-se verificar o efeito da temperatura de reaquecimento e do grau de deformação total aplicado durante a laminação a quente sobre as propriedades mecânicas de ambos os aços. Os ensaios de laminação a quente foram feitos em escala laboratorial, sob diversas condições de processo. Foram usadas duas temperaturas de reaquecimento: 1100 e 1200°C. O grau de deformação aplicado na fase de esboçamento da laminação controlada foi de 30 ou 50%, enquanto que na fase de acabamento ele foi igual a 40 ou 67%. A temperatura de acabamento foi mantida constante em 750°C para todas as amostras estudadas nesta série.

Numa segunda série de ensaios objetivou-se estudar o efeito da temperatura de acabamento sobre as propriedades mecânicas das duas ligas estudadas. Neste caso, o grau de deformação real a quente aplicado foi constante, tendo sido fixado no máximo possível, ou seja, 50% no esboçamento e 67% no acabamento, totalizando deformação real global de 84%. As temperaturas de reaquecimento testadas foram as mesmas da primeira série (1200 e 1100°C), enquanto que as temperaturas de acabamento aplicadas foram de 700 e 800°C. Note-se que as amostras da série anterior que foram submetidas ao grau máximo de deformação e à temperatura de acabamento de 750°C também forneceram subsídios para esta análise.

As amostras laminadas de aço HSLA-80, obtidas nas duas séries de ensaio, foram adicionalmente submetidas a tratamento de envelhecimento para proporcionar endurecimento pela precipitação de cobre.

Todas as amostras assim obtidas foram submetidas à análise metalográfica e aos ensaios mecânicos de dureza, tração e impacto Charpy.

Os ensaios de reaquecimento e de laminação de esboçamento foram repetidos, sendo as amostras temperadas em água para se verificar como foi a evolução do tamanho de grão austenítico.