

FERRAMENTAS TECNOLÓGICAS APLICADAS AO CONTROLE DE PARÂMETROS DE PROCESSO E QUALIDADE NAS LINHAS DE DECAPAGEM E LAMINAÇÃO A FRIO DA CSN-PARANÁ.¹

*Carlos Frederico Rangel Xavier²
Alexandre Yukio Shigemori³
José Maurício Ferreira Diegues⁴
Maria Angélica Avelar Muniz⁵
Maurício Barreto Borges⁶
Michel de Castro Nunes⁷*

Resumo:

O presente trabalho visa mostrar os benefícios alcançados com a aplicação de algumas ferramentas tecnológicas em processos industriais de decapagem e laminação a frio para aços planos ao carbono, garantindo uma melhor repetibilidade do processo envolvido. Aspectos relacionados ao controle de parâmetros de processo e qualidade serão abordados demonstrando a abrangência de alcance destas ferramentas. Uma descrição sucinta das linhas de Decapagem e Laminação a Frio da CSN-PR será mostrada inicialmente para então realizar-se uma abordagem mais profunda em cada linha. Por parte do processo destaca-se o automatismo em atividades como abertura/fechamento de bombas e válvulas na decapagem e controle de espessura passe a passe no laminador. No tocante a qualidade verifica-se a possibilidade de obtenção de relatórios completos demonstrando o histórico de cada bobina processada nas linhas. Ao final será validado a proposição inicial de ganhos com a aplicação consciente de tecnologia.

Palavras-chave: tecnologia, processo, qualidade, repetibilidade.

¹ 41º Seminário de Laminação - Processos e Produtos Laminados e Revestidos da ABM a ser realizado nos dias 26, 27 e 28 de outubro de 2004, em Joinville - SC

² Gerente de Produção

³ Engenheiro de Processo

⁴ Engenheiro de Manutenção

⁵ Engenheira de Manutenção

⁶ Engenheiro de Processo

⁷ Engenheiro de Produto

1. INTRODUÇÃO

É factível e consolidada a necessidade atual de que processos industriais em grande escala devem garantir uma repetibilidade excelente, propiciando sempre um produto mais adequado ao seu consumidor intermediário e final. Não poderia deixar de ser diferente em uma indústria de base como a de aços planos ao carbono. A demanda nacional e mundial, aportada pelo desenho de desenvolvimento da economia da China, por exemplo, exige grandes toneladas ao mesmo tempo em que os consumidores estão cada vez mais atuando em vias de se garantir seus direitos como tais, vide processos contra alimentos que contenham carboidratos nos EUA. O que, até algum tempo atrás, parecia inaplicável.

Contudo, em tempos de grande renovação tecnológica, a tecnologia se aplica cada vez mais em setores os mais variados possíveis. Neste trabalho será verificada a atuação da tecnologia em processos industriais de decapagem e laminação a frio de aços planos ao carbono. Será mostrado um painel bastante avançado e ainda promissor para esta facção da indústria na planta da CSN-PR, em Araucária/PR.

É importante, antes de se avaliar os benefícios oferecidos pela aplicação de ferramentas tecnológicas aos referidos processos, entender em que consistem os mesmos. Serão explanados aspectos básicos de decapagem e laminação a frio. Em seguida então será mostrado como a tecnologia pode se tornar uma poderosa aliada no intuito de se obter um processo mais controlado, sendo apresentadas as linhas de Decapagem Semicontínua (LDS 1) e Redução a Frio (LRF 1).

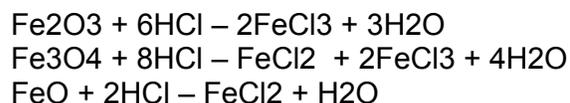
2. PROCESSO DE DECAPAGEM DE AÇOS PLANOS AO CARBONO

O processo de decapagem de aços planos ao carbono consiste basicamente em se remover as camadas de óxidos de Ferro existentes na superfície das tiras laminadas a quente. O aparecimento desses óxidos de Ferro é influenciado principalmente pelas condições de processo na linha de laminação a quente, como temperatura da tira, temperatura de bobinamento, resfriamento e armazenamento da bobina.

A existência destes óxidos (comumente denominado carepa), inviabiliza vários processos posteriores no aço base, como laminação a frio, revestimento e soldagem, daí a necessidade de removê-los.

A carepa é constituída por três camadas de óxido de ferro: FeO (Wustita)-85%, Fe₃O₄ (Magnetita)-13% e Fe₂O₃ (Hematita)-2%.

Para a remoção dessa camada de óxido é comum a utilização de ácido clorídrico, que reagem com o óxido conforme reações abaixo:



As reações acima ocorrem no que chamamos de tanques de processo, onde se passa a tira em um banho de solução de ácido clorídrico. Ao sair dos tanques de processo, com o objetivo de se retirar o excesso de ácido, a tira é encaminhada à seção de limpeza, onde é lavada com água e seca logo após.

Normalmente usa-se aparar as bordas do material para conferir uma melhor qualidade e garantia de largura às mesmas. Após, o material passa por uma inspeção antes de ser oleado (quando solicitado pelo cliente).

3. PROCESSO DE LAMINAÇÃO A FRIO DE AÇOS PLANOS AO CARBONO

Neste processo a chapa laminada a quente decapada tem sua espessura reduzida ao valor final para aplicações da linha a frio / galvanizadas / pintadas. Esta redução é obtida à custa de aumento no comprimento da chapa e um pouco de perda na largura (a teoria diz que o processo de laminação se passe em um estado plano de deformação, o que não é realidade na prática).

O processo se torna muito mais complexo quando considera-se as questões de tolerâncias de espessura e aplainamento. A força de laminação aplicada deve variar o menos possível durante o mesmo passe de laminação. É certo que os cilindros de trabalho têm fundamental importância neste aspecto. Para controle do coroamento da tira existem artefatos como o controle de pass-line, controle de flexão lateral, controle de movimentação lateral e coroamento térmico.

Outro fator importante para o bom andamento do processo diz respeito à lubrificação. Devido ao atrito metal-metal, faz-se necessária a separação das superfícies dos cilindros e da tira para que se evite desgaste excessivo dos cilindros e talvez arrebentamento da tira. A lubrificação é realizada com o uso de uma emulsão água-óleo. O óleo garante a redução do atrito entre as partes metálicas e a água age como agente refrigerante dos cilindros e ajuda no controle de coroa da tira.

4. MEMORIAL DESCRITIVO DO PROCESSO DA DECAPAGEM

A linha de decapagem da CSN-PR, situada em Araucária/PR, é uma linha do tipo semi-contínua (push-pull) e foi dimensionada para remover a carepa da superfície da tira laminada a quente, de dimensões compreendidas entre 1,5 a 5,0 mm de espessura e de 700 a 1625 mm de largura em bobinas de até 25 toneladas.

4.1. Seção de entrada

Bobinas com o eixo na vertical, são colocadas na ordem previamente estabelecida pela programação, através da ponte rolante no virador de bobinas, que por sua vez tombará as mesmas, para que sejam removidas pelo carro de bobinas.

O carro de bobinas transportará a bobina ao berço nº2 onde a bobina é pesada. Nesse ponto, a bobina é inspecionada e são checados os dados primários recebidos pelo nível 2 de automação (será tratado posteriormente – pág. 06), como por exemplo, N.º de identificação da bobina, largura, espessura, grau do aço, etc.

Uma vez pesada e inspecionada, a bobina é reconhecida no sistema pelo operador.

O carro de bobinas irá então fazer o enfiamento da mesma no mandril da desenroladeira para se dar início a produção. O rolo pressionador é abaixado e com a ajuda da mesa de enfiamento, a ponta é encaminhada a desempenadeira. A desempenadeira puxa a tira até a tesoura transversal para que sejam cortados os defeitos da ponta da tira, um medidor de espessura na linha auxilia o operador a eliminar a parte da tira que está fora da especificação.

O rolo anti-quebra de superfície (Anti-QS), é um equipamento utilizado para evitar o aparecimento do defeito “quebra de superfície” na tira durante o desbobinamento.

O modo de loop será abordado mais a frente.

4.2. Seção de processo

Após o corte dos defeitos da ponta da tira, é feito o enfiamento da mesma através da seção de processo, esse enfiamento é feito automaticamente após o comando do operador.

A seção de processo, da linha de decapagem da CSN-PR, é constituída por seis tanques de decapagem, cada tanque é provido de uma bomba de recirculação. Três tanques de recirculação, N.º1/2; N.º3/4 e N.º5/6, cada um com uma solução de ácido clorídrico de concentrações diferentes, são responsáveis por fornecer ácido a dois tanques de processo. Entre os dois tanques que recebem a mesma solução de ácido, existe um par de rolos secadores que removem o ácido presente na superfície da tira e entre cada par de tanques, existem dois pares de rolos secadores para evitar a contaminação das soluções através do arraste do ácido pela superfície da tira. Cada tanque tem um sistema de trocadores de calor para aquecimento da solução, os set points de temperatura de cada tanque são inseridos pelo operador e a temperatura controlada automaticamente.

O ácido é injetado nos tanques de decapagem por seis bicos laterais para que formem um turbilhonamento dentro dos mesmos. O ácido é drenado por gravidade de volta aos tanques de recirculação.

O ácido encaminha-se através de um sistema de cascata entre os tanques de recirculação do último tanque para o primeiro reduzindo sua concentração, isto é, o tanque com a menor concentração de ácido, tanque N.º 1, é também o de maior concentração de ferro. Do tanque N.º 1 o ácido é encaminhado a usina de regeneração.

O controle das concentrações dos tanques de recirculação pode ser feita de duas maneiras: Modo semi-automático e Modo automático.

Com o modo semi-automático selecionado, o controle da concentração se dará com a adição de ácido clorídrico regenerado no último tanque de recirculação. A adição de ácido se dá por intermédio de bombas que são ligadas por um determinado tempo, cada vez que uma certa quantidade de tira (medida em metro quadrado) é processada.

O modo automático controla a concentração de ácido no tanque N.º5/6 e a concentração de ferro no tanque N.º1/2, mantendo as mesmas dentro do set point estabelecido pela operação.

Após os tanques de processo, encontra-se o tanque de limpeza, constituído de um tanque com cinco estágios para remoção do cloro residual da superfície da tira. A tira é submersa em água quente turbulenta suprida por circuitos de recirculação separados para cada estágio, entre cada estágio existe um par de rolos secadores e após o último estágio, existem dois pares de rolos secadores para promover a secagem da tira ao sair da seção de limpeza. A água de limpeza cascadeia continuamente do quinto para o primeiro estágio, de onde é enviada para uso na regeneração de ácido ou para o tratamento de efluentes.

Ácido cítrico é adicionado à solução usada na limpeza para evitar manchas d'água na parada da linha.

Três navalhas de ar localizadas imediatamente após o último par de rolos secadores fazem a secagem completa da tira.

Um sistema de exaustão coleta todos os fumos ácidos da linha e os encaminha ao lavador de gases para tratamento e posterior lançamento na atmosfera.

4.3. Seção de apara lateral

A seção de apara lateral é formada pelo rolo corretor, sistema de loop, tesoura lateral (T.L.) e cortador de sucata. A tesoura lateral é responsável por cortar as bordas da tira garantindo assim a qualidade da mesma e a largura da tira. A sucata aparada pela tesoura é encaminhada ao cortador de sucata que irá cortá-la em pequenos pedaços. Para que a tira entre centralizada na tesoura lateral, o rolo corretor, através de um sistema de reconhecimento da posição da tira, direciona a mesma ao centro da linha de decapagem, isso é possível devido ao loop criado para retirar a tensão da tira.

Os setpoints para ajuste do gap, lap e largura são definidos pelo nível 2, baseado nas tabelas tecnológicas e nos dados primários da bobina.

4.4. Seção de saída

Ao sair da seção de processo a tira passa então pelos rolos tensores, mesa de inspeção, oleadeira, tesoura transversal, para ser novamente enrolada na bobinadeira.

Os rolos tensores são responsáveis por aplicar a tensão na tira para que possa ser processada e rebobinada, as tensões são set points enviados pelo nível 2 que usa o grau do aço, dimensões da tira e um fator. As tensões são diferentes para a enroladeira e desenroladeira.

Na mesa de inspeção, existe uma tela onde o operador entra, se necessário, com o código, posição e intensidade dos defeitos apresentados na tira, que são relacionados para a posição exata no comprimento da bobina.

O set point da oleadeira é inserido pela operação e é capaz de aplicar um filme de óleo de 200 a 2500 mg/m² na superfície da tira.

Há também uma tesoura transversal na saída para corte de defeitos na ponta e cauda da tira ou para divisão da bobina no peso exigido pelo cliente.

Após o termino da bobina, a mesma é retirada do mandril com o carro de bobina, pesada, cintada e enviada ao próximo equipamento ou ao cliente.

5. MEMORIAL DESCRITIVO DO PROCESSO DO LAMINADOR

O laminador de tiras a frio da CSN-PR é do tipo quádruo de uma cadeira reversível, sendo permitidos até 9 passes de laminação.

A matéria-prima para o processo consiste em bobinas laminadas a quente decapadas (BQD), oriundas da própria planta ou da Usina Presidente Vargas, localizadas em Volta Redonda. Estas bobinas podem variar de 700 a 1600mm de largura e de 1,50 a 5,00mm de espessura, com diâmetro de 610mm.

No produto final, bobina laminada a frio Full-hard (BFFH), podem-se obter espessuras de 0,20 a 1,55mm, com diâmetro de 508mm. É um laminador de pass-line elevado, com aproximadamente 2200 mm de altura. as desenroladeiras estão arranjadas de modo que podem ser manuseadas acima do nível do solo.

5.1. Seção de entrada

As bobinas são depositadas em berços logo a frente da desenroladeira com capacidade para 3 bobinas. Um carro bobina transporta a bobina dos berços para o mandril da desenroladeira passando pelo medidor de largura e diâmetro. A desenroladeira é equipada de um sistema FIFE para correção da borda.

Após apoiar a ponta do mandril sobre o mancal de encosto, a tira é guiada até a aplainadeira através das mesas guias.

Guias laterais e mesas de enfiamento ajudam a manter a tira centralizada durante as operações de enfiamento e re-enfiamento.

5.2. Seção de processo

A cadeira e equipada com tecnologia CVC.

Conta com ajuste de cunha, responsável por manter o pass-line constante. Atua a cada troca dos rolos de trabalho, totalmente automático.

O cilindro hidráulico de ajuste do GAP está posicionado na parte superior da cadeira. Os cilindros de encosto são suportados por mancais do tipo Mergoil. Os rolos de trabalho são dotados de sistema de flexionamento (bending) e um sistema de deslocamento axial que aliado à convexidade dos cilindros atua no melhor controle do aplainamento da tira.

O acionamento da cadeira se dá pelos cilindros de trabalho.

O laminador é dotado de um sistema automático para troca dos cilindros de trabalho. A troca dos cilindros de encosto se dá de forma semi-automática.

5.3. Seção de saída

Equipamentos como mesas guias e sistema de secagem da tira estão localizados na seção de saída. Também existe um medidor de espessura e um rolo medidor de aplainamento.

Enroladeiras

Equipadas com mandris de 2 segmentos, dotados de mordente de alta pressão, o que permite a partida do laminador com a tira tensionada logo após a “mordida”. Um segundo carro bobina retira as bobinas dos berços de saída e deposita-as em outros berços localizados na área de estocagem de bobinas laminadas a frio.

6. AUTOMAÇÃO DAS LINHAS LDS-1 e LRF-1

A linha de decapagem semicontínua e o laminador reversível a frio da CSN-PR possuem sistemas de controle de produção que compreendem vários níveis de automação. Os níveis de automação são:

Nível 3: Também conhecido por Planejamento e Controle da Produção. No nível 3 o MES é uma camada que tem por função básica gerenciar as informações de produção e fazer a integração entre o ERP e os sistemas de chão de fábrica.

Nível 2: Também conhecido como Controle de Processo, é responsável por receber a seqüência de produção assim como os dados primários que são enviados pelo nível 3, processar essas informações e gerar setpoints que serão enviados para o nível 1. Recebe do nível 1 os dados de produção e qualidade da bobina e os envia para o MES.

Nível 1: Também conhecido por Automação Básica. Formado por PLC's da Siemens (S7 e TDC) é responsável por fazer o controle da planta.

Nível 0: Todos os equipamentos elétricos básicos.

Sistema de Supervisão: IHM (Interface Homem Máquina) permite ao operador monitorar e interagir com o processo.

PDA : sistema utilizado para coleta, visualização on-line e análise de variáveis analógicas e digitais do sistema de automação básica. Também é possível realizar análise off-line. O PDA é uma ferramenta importante para a equipe de manutenção na análise de falhas

QDR e ADH: responsáveis por coletar dados de qualidade da tira ao longo do processamento. O registro destes valores pode ser feito com base no comprimento da tira (a cada 1 m de tira) ou com base no tempo .

6.1. Entrada de dados:

6.1.1. Decapagem

O nível 2 recebe do MES a seqüência de produção assim como os dados primários através dos quais define os setpoints que serão usados pelo nível 1 no processamento da bobina. A utilização do nível 2 em linhas de produção agrega flexibilidade, otimização da produção e reprodutibilidade na qualidade do produto.

6.1.2. Laminador a frio

Possui as mesmas funcionalidades do nível 2 da decapagem, porém os setpoints são determinados através de tabelas tecnológicas, modelos matemáticos e redes neurais. No início do processamento estes setpoints são enviados para o nível 1 e ao final de cada passe o nível 2 recalcula estes setpoints com base das informações do passe anterior e os envia novamente para o nível 1. As redes neurais são usadas no Modelo Adaptativo de Laminação na determinação da força de laminação.

6.2. Processamento do material:

6.2.1. Decapagem

Quando a bobina acopla no mandril de entrada e já foi dada a entrada no sistema, ela começa a ser produzida. A automação básica, nesta situação, tem uma função fundamental no processo: ela controla todo o equipamento. Para esta produção, existem módulos diferentes de controle de equipamentos, cada um com uma função específica. Cada um deles está descrito abaixo:

- Módulo de controle dos motores: ele determina a velocidade da linha e o sincronismo de partida e funcionamento de todos os motores da linha;
- Módulo de controle dos equipamentos auxiliares: ele comanda a abertura e fechamento e a partida e desligamento de todas as bombas e válvulas do sistema;
- Módulo de rastreamento da tira: este módulo que controla a posição da tira na linha e determina a situação, desde que a bobina entrou na linha até quando ela acabou de ser produzida. Este módulo diz quando os dados resultantes do processo, bem como a identificação da bobina produzida devem ser enviados novamente para o nível 2;
- Módulo de coordenação da linha: este módulo controla as seqüências da linha, bem como coordena a atuação dos módulos anteriores. Ele é o responsável pela movimentação correta dos equipamentos de forma automática durante a produção da bobina.

6.2.2. Laminador a frio

Como na decapagem, a automação básica controla todo o equipamento. Para esta produção, existem módulos diferentes de controle de equipamentos, cada um com uma função específica.

O laminador possui dois sistemas de controle principais: o controle de espessura e o controle de planicidade.

- Controle de espessura: este controle é composto por três controles diferentes. Seus resultados são somados e atuados na força de laminação e na tensão. São eles:
 - Feed Forward: é o controle em malha aberta que tem como base a espessura de entrada da tira;
 - Feed Back: é o controle de malha fechada que se baseia na espessura de saída;
 - Mass Flow: é o controle que também é de malha fechada, mas se baseia na relação entre a espessura de entrada e velocidade de entrada e na espessura de saída e velocidade de saída. Este demora um pouco mais a iniciar porém tem uma eficiência maior na sua atuação.
- Controle de planicidade: este controle é composto por quatro tipos de atuação diferentes, porém, diferentemente do de espessura, ele atua pela eficiência desses atuadores (eficiência a qual é determinada por uma curva que é construída também utilizando redes neurais artificiais, baseado nas atuações repetitivas desses sistemas). Na atuação, ele segue uma linha de prioridade: ele atua primeiramente com o controle de inclinação (Tilting), o residual chega ao controle de flexão (Bending), posteriormente ele atua com o CVC (Shifting) e a parte que nenhum deles conseguiu atuar, o resfriamento (Cooling). Como sensor, este sistema utiliza um rolo (Shape meter roll) que possui trinta e duas zonas com uma célula de carga em cada uma, medindo assim a planicidade da tira em cada passe, em ambos os sentidos de laminação.

Além dos controles, o laminador possui um sistema que é responsável por fazer realimentação do resultado dos controles durante a laminação ao nível 2 (automação de processo) para que ele possa verificar a eficácia do modelo e recalculá-lo para o passe seguinte de forma a corrigir alguns desvios dos setpoints de força pré-determinada inicialmente para que se possua uma precisão no cálculo, evitando assim uma atuação muito grande dos controles durante os passes.

Com isso, após a produção das bobinas, deve ser informado ao sistema sobre os resultados desse processamento.

6.3. Saída de dados das bobinas:

6.3.1. Decapagem

Após o sistema de rastreamento informar que a bobina acabou de ser produzida, inicia-se a fase de retorno ao nível 2 dos dados de produção e processo. As informações referentes a produção são enviadas para o nível 3 assim como informações de inspeção do material. Essas informações de inspeção são registradas pelo inspetor através de uma estação de trabalho na saída da linha. O inspetor informa o código de defeito e o sistema de automação registra a posição inicial do defeito. Ao ser finalizado pelo inspetor o sistema registra a posição final. O nível 2 envia também para o nível 3 dados de consumo por turno, consumo por bobina e paradas da linha.

- As informações de qualidade assim como informações de processo ficam armazenadas no sistema de automação para consultas futuras.

6.3.2. Laminador a frio

Ao final da produção, assim como na decapagem, o nível 2 envia para o MES dados de produção e processo. Embora o nível 2 armazene os dados de processo e produção a cada passe, são enviados para o nível 3 apenas os dados do último passe. São enviados também dados de consumo por bobina, consumo por turno, defeitos automáticos e paradas da linha.

As demais informações ficam armazenadas no sistema de automação para consultas futuras.

7. DISCUSSÕES

O nível 2 mostra-se dinâmico pela sua capacidade de adquirir conhecimento com experiências, principalmente no laminador a frio onde um sistema de redes neurais faz interconexão entre dados de entrada e processo, sempre melhorando os setpoints do equipamento.

O nível 1 (automação básica) tem grande importância no processamento das bobinas. Na decapagem controla adição de ácido e garante a rastreabilidade da tira ao longo da linha. No laminador os sistemas de controle de espessura e planicidade são bastante eficazes. A espessura final dificilmente oscila mais que $\pm 0,5\%$.

Os relatórios gerados são fontes confiáveis de rastreabilidade de qualquer bobina que tenha sido processada em ambas as linhas.

8. CONCLUSÕES

- A automação objetiva alta flexibilidade na produção, utilização otimizada da capacidade da planta, alta disponibilidade, reprodutibilidade da qualidade do produto sobre toda a tira, relatórios convincentes, suporte para produção garantindo qualidade, cálculo de setpoints, operação simplificada, funções flexíveis e abertas.
- A automação básica (nível 1) traz grandes melhorias em relação a outras linhas de decapagem. Na decapagem todas as bombas e válvulas e velocidades são controladas pelo nível 1. Além disso, a automação básica é responsável pelo rastreamento da tira na linha, exibindo aos operadores a situação real da mesma instante a instante. É daqui que são retirados os dados de saída da bobina.

TECHNOLOGICAL TOOLS APPLIED TO PROCESS AND QUALITY PARAMETERS CONTROL ON PUSH-PULL PICKLING LINE AND REVERSING COLD MILL AT CSN-PARANÁ.⁸

Carlos Frederico Rangel Xavier⁹
Alexandre Yukio Shigemori¹⁰
José Maurício Ferreira Diegues¹¹
Maria Angélica Avelar Muniz¹²
Maurício Barreto Borges¹³
Michel de Castro Nunes¹⁴

Abstract:

This present work aims to show the reached benefits with the appliance of technological tools in industrial flat carbon steels pickling and cold mill processes, in order to guarantee a better repeatability on the involved process. Process and quality parameters control related aspects were approached demonstrating the reaching of this tools. Descriptions of the Push pull pickling line and reversing cold mill at CSN-PR were presented to, after that, deeper approaching in each line take place. In the process side the highlights are the automatism in activities such as open/close of pumps and valves in pickling line and thickness control in cold mill. In the quality side is verified the possibility of generation of complete reports demonstrating the data of each coil processed in the lines. At the end, was staked the initial proposition of gains with the conscient appliance of technology.

Key words: technology, process, quality, and repeatability.

⁸ 41st Rolling Seminar – Processes, Rolled and Coated Products – ABM. October 26 to 28, 2004 – Joinville, SC, Brazil

⁹ Production Manager

¹⁰ Process Engineer

¹¹ Maintenance Engineer

¹² Maintenance Engineer

¹³ Process Engineer

¹⁴ Product Engineer