

# Contrôle-commande et automatisation des lignes de recuit et de décapage

**De nouveaux développements dans la commande à vitesse variable des moteurs asynchrones, notamment la technologie du contrôle direct de couple (DTC), sont au cœur des systèmes avancés d'entraînement de puissance mis au point par ABB pour les lignes de traitement des bandes laminées d'acier inoxydable. Ces systèmes intègrent également des postes opérateurs de conduite et de supervision. Des fonctions logicielles très puissantes permettent aux métallurgistes un suivi et une gestion de production très précis, quantitativement et qualitativement. ABB a récemment fourni tous les équipements électriques et systèmes d'automatisation pour une nouvelle ligne de recuit et de décapage de l'usine Baoyong Special Steel de Ningbo en Chine.**

**D**epuis quelques années, les métallurgistes doivent satisfaire des exigences croissantes de leurs clients en termes de qualité de finition et d'épaisseur des tôles d'acier. Parallèlement, les opérateurs doivent tenir des objectifs élevés de production annuelle. Pour concilier ces impératifs, les laminoirs sont dotés d'équipements électriques avancés avec des fonctions de contrôle-commande dédiées.

Un des principaux ateliers d'une aciérie intégrée est l'atelier de laminage à froid où les bobines d'acier provenant du laminage à chaud sont transformées en bande. Dans cet atelier, on distingue deux types d'installations principales **1**:

- les laminoirs à froid proprement dit qui réduisent l'épaisseur des bandes d'acier
- les équipements d'amélioration des propriétés / de traitement des produits laminés et de découpe/refendage (Tableau 1)

Les performances de l'équipement électrique des installations de traitement ont une influence déterminante sur la qualité des produits finis. Par exemple, le système de contrôle-commande de la ligne de traitement doit garantir un défilement très précis et très régulier de la bande d'acier. Tout

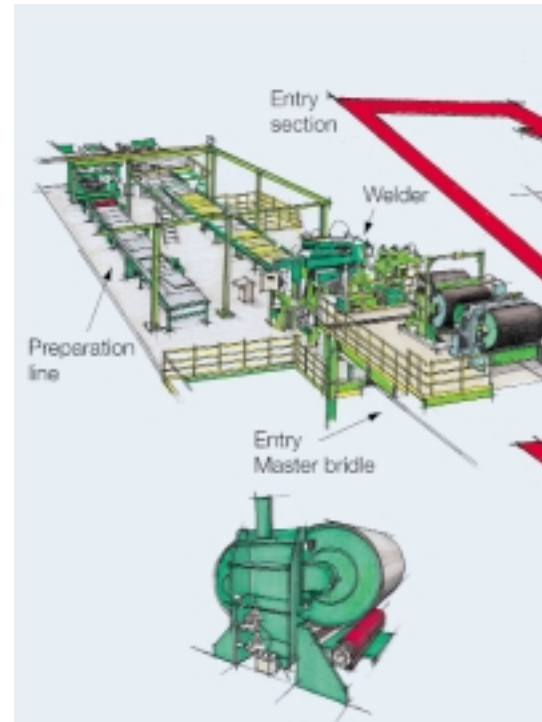
arrêt de la section de traitement ou une tension de bande mal régulée aura des conséquences désastreuses sur la qualité du produit fini ou entraînera des pertes de production.

## Principales opérations de traitement

Les opérations de traitement modifient les caractéristiques, le fini de surface et/ou les dimensions des produits laminés. Nous citerons, par exemple, la galvanisation (protection anticorrosion par dépôt d'une fine couche de zinc), le laquage (application d'une couche de peinture) et le refendage (découpe des bobines en bandes plus étroites).

A l'exception des lignes comportant, en sortie, une section de coupe à longueur, la plupart des lignes de traitement des

**Luca Zanella**  
**Vincenzo Spinelli**  
ABB Industria SpA



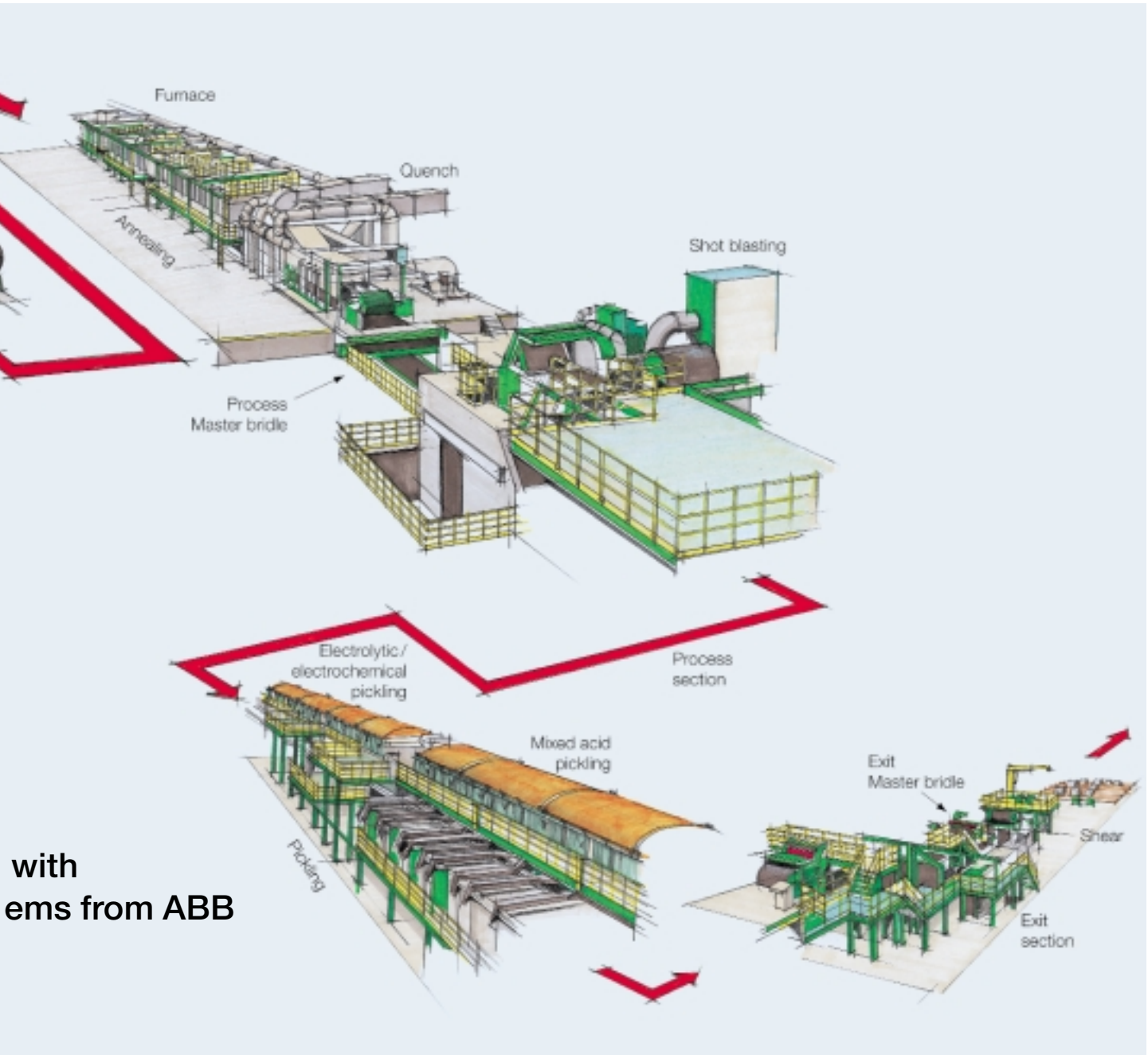
## Entry-to exit automation advanced electrical system

**Dans une aciérie intégrée, les produits laminés à**

bandes d'acier fonctionnent en continu de bobine à bobine. Le produit laminé en bobines arrive en entrée de ligne; il est déroulé, traité en continu et ensuite rebobiné en sortie de ligne.

## Lignes de traitement en continu

Pour être sûr d'atteindre les objectifs de qualité, les différentes sections de la ligne



with  
ems from ABB

chaud arrivent dans l'atelier de laminage à froid où ils sont transformés en bandes et traités.

1

doivent fonctionner à vitesse constante et le procédé être supervisé de A à Z. Après préparation de la bobine (ex., suppression des premières spires abîmées), la bande est introduite dans la ligne. Une des premières opérations est le soudage bout à bout des deux bandes (bande en entrée et bande en cours de traitement), préalable indispensable au fonctionnement en continu de la ligne. Cette opération de soudage

impose l'installation d'un accumulateur, véritable stock tampon entre la section d'entrée et la section de traitement, et qui permet de maintenir le fonctionnement en continu de la ligne pendant le soudage. Dès que l'accumulateur est vide, la section d'entrée accélère jusqu'à une survitesse présélectionnée pour accumuler une longueur de bande suffisante pour la prochaine opération de soudage.

Dans la section de sortie, la bande d'acier est rebobinée et les bobines sont déchargées. Ces opérations impliquent l'installation d'un deuxième accumulateur, stock tampon du produit laminé traité. Cette section de sortie peut également fonctionner en survitesse pour compenser toute longueur de bande excessive stockée dans l'accumulateur de sortie pendant les arrêts de cette section.

**Tableau 1**  
**Installations de parachèvement des produits laminés**

Traitement de finition	Traitement de surface / amélioration des propriétés	Dimensions des bandes d'acier
<ul style="list-style-type: none"> <li>● lignes d'étamage</li> <li>● Nettoyage électrolytique</li> <li>● Lignes de galvanisation et d'aluminage</li> <li>● Lignes de peinture</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lignes de décapage</li> <li>● Lignes de recuit en continu</li> <li>● Lignes combinées de recuit et de décapage</li> <li>● Dégraissage électrolytique des bandes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Lignes de refendage</li> <li>● Lignes de cisailage</li> <li>● Lignes d'inspection</li> </ul>

### La ligne de recuit et de décapage

La ligne de recuit et de décapage est une des installations qui exigent une vitesse de défilement constante du produit laminé.

Au cours du laminage à froid, la tôle durcit au fur à mesure que son épaisseur diminue. Pour pouvoir continuer à laminier, il est donc nécessaire de recuire le métal, opération qui l'adoucit et réorganise sa structure. Le recuit peut se faire en continu; dans ce cas, la tôle est réchauffée dans un four à plusieurs zones de température jusqu'à la température voulue et ensuite refroidie à environ 80°C (à des températures

supérieures, la ligne doit être arrêtée pour ne pas endommager les équipements mécaniques en aval). Les températures de réchauffage varient en fonction du type d'acier traité ainsi que de l'épaisseur et de la largeur de la bande.

Après recuit, la tôle passe dans la section de décapage pour rendre sa surface propre et brillante. Cette section est composée de cuves de solutions acides pour un traitement électrolytique, électrochimique ou mixte.

Le *Tableau 2* récapitule les spécifications, y compris les vitesses de défilement et les paramètres de décapage, d'une nouvelle ligne de recuit et de déca-

**Tableau 2**  
**Spécifications de la nouvelle ligne de recuit et de décapage de l'usine Baoyong Special Steel de Ningbo en Chine**

<i>Données produit</i>	
Matériau	Acier inoxydable laminé à chaud et à froid (AISI 300-400)
Épaisseur des bandes	0,3 mm – 5,0 mm
Largeur des bandes	650 mm – 1350 mm
Masse des bobines	maxi 31 t
<i>Caractéristiques de vitesse de la ligne</i>	
Vitesse d'engagement	25 m/min
Vitesse d'entrée/sortie	90 m/min
Vitesse de traitement	60 m/min
<i>Accél. et décél. en entrée/traitement/sortie</i>	
Accélération normale	+0,13 m/s <sup>2</sup>
Décélération normale	-0,13 m/s <sup>2</sup>
Arrêt rapide	-0,26 m/s <sup>2</sup>
<i>Températures de recuit</i>	
HR 300	1130 °C
CR 300	1090 °C
CR 400	840 °C

page qu'ABB a récemment installée à l'usine *Baoyong Special Steel* de Ningbo en Chine **2**.

### Stratégie de contrôle-commande des entraînements électriques

La diversité des configurations existantes de ligne de parachèvement, en particulier des sections de traitement, ne permet pas de définir une stratégie unique de contrôle-commande de ces lignes, prenant en compte les différentes combinaisons possibles d'entraînements électriques. Toutefois, pour certaines fonctions d'entraînement, il existe des principes généraux applicables.

Normalement, la tension de la bande doit être régulée séparément dans chacune des sections. Pour ce faire, on utilise des tensionneuses réglées en vitesse. Chaque section comporte une tensionneuse avec un pilote de vitesse qui détermine la vitesse de consigne ; le pilote de vitesse des sections d'entrée et de sortie contrôle la survitesse permettant le fonctionnement des accumulateurs pendant les arrêts (ex. pour les opérations de soudage et de finition des bobines). Dès que ces opérations sont terminées, la vitesse de ces sections est à nouveau adaptée à celle de la section de traitement. Les autres tensionneuses fonctionnent soit en sous-vitesse (régulation par rétroaction), soit en survitesse (régulation par anticipation), dans chaque cas rapporté à la tensionneuse de la section de traitement. Ce mode de fonctionnement, appelé régulation indirecte de traction, garantit le maintien de la vitesse de défilement et de la tension de bande requises. En d'autres termes, une tensionneuse qui n'est pas pilote est contrôlée en régulation indirecte de traction.

Une régulation très précise de la tension de bande est indispensable pour prévenir la rupture du produit laminé dans les zones critiques. La régulation directe de traction, utilisant des jauges de contrainte (ou tractionmètres) montées directement sur les rouleaux **3**, garantit cette précision.

En général, la régulation de vitesse de la tensionneuse pilote est basée sur la répartition de charge entre les deux entraînements de la tensionneuse (*Tableau 3*). L'avantage de cette configuration par rapport à la solution avec un entraînement



**Section de décapage de la ligne de recuit et de décapage de l'usine de Baoyong Special Steel de Ningbo en Chine. Les cuves ouvertes contiennent les électrodes qui génèrent les flux de courant servant au traitement de surface des tôles.** **2**

maître et un entraînement esclave est, d'une part, une meilleure stabilité pendant l'accélération et la décélération et, d'autre part, une compensation à vitesse constante de la différence de diamètre des rouleaux.

La régulation indirecte de traction avec compensation d'inertie et des pertes est normalement utilisée pour l'enrouleuse et l'accumulateur.

Ainsi, dans les sections d'entrée et de sortie, seule une tensionneuse est configurée en pilote de vitesse. Si la section de sortie comporte une cisaille de rives, elle peut inclure (dans le sens du défilement) une tensionneuse en amont et une tensionneuse en aval de la cisaille de rives, cette dernière jouant le rôle de pilote pour garantir une vitesse constante au niveau de la cisaille de rives.

Il n'existe aucune règle particulière pour la section de traitement. En général, le pilote se trouve au-delà de l'élément le plus important (ex., le four de recuit). Si la ligne ne comporte qu'une seule opération de traitement, le pilote se place juste

en sortie du traitement. Si la section est dotée d'une section de planage sous traction, la planeuse elle-même doit être le pilote.

### **Les équipements électriques**

Lors du choix des équipements électriques pour un projet industriel, il faut non seulement réfléchir en termes d'investissement

**Jauge de contrainte pour la mesure directe de traction de bande, montée sur la tensionneuse en entrée de la section de traitement** **3**



**Tableau 3**  
**Exemples types de paramètres contrôlés dans une ligne de parachèvement**

Moteur	Plage de puissance (kW)	Régulation	Autre possibilité	Contrôle direct de couple (DTC)	Compensation
Tensionneuse	20–60	Régulation de vitesse avec limitation de couple	Régulation de couple (régulation directe ou indirecte de traction); option de répartition de charge et fenêtre de régulation	Avec codeur incrémental	Inertie et pertes
Accumulateur	80	Couple (régulation de traction); la tension de la bande reste constante pendant l'accélération/la décélération et à vitesse constante	Régulation de vitesse pendant marche par impulsions	Avec codeur incrémental	Inertie, pertes et charge déséquilibrée
Enrouleuse Dérouleuse	150–400	Couple (régulation indirecte de traction) en marche normale avec calcul du diamètre des bobines (le couple varie en fonction de l'évolution du diamètre pendant le bobinage)	Régulation de vitesse à l'engagement, en marche par impulsions, en positionnement de la queue de bande	Avec codeur incrémental	Inertie et pertes
Rouleau de four Rouleau de serrage Rouleau pinceur	3–15	Fenêtre de régulation (pas de glissement entre la tôle et le cylindre: l'entraînement est piloté en référence vitesse avec une zone morte pour que la vitesse de l'entraînement soit toujours égale à la vitesse de défilement de la bande d'acier)		Sans codeur incrémental	Inertie et pertes

initial, mais également en termes de coût global de cycle de vie, prenant en compte des facteurs tels que rendement, consommation énergétique, pièces de rechange et maintenance. Les solutions traditionnelles à courant continu, avec des entraînements à vitesse variable performants en couple et en vitesse, sont aujourd'hui de plus en plus remplacées par des solutions à courant alternatif. En effet, les nouveaux convertisseurs de fréquence permettent d'obtenir les mêmes niveaux de performances mais avec des moteurs à courant

alternatif, plus économiques car de conception plus simple, plus fiables même dans les environnements les plus sévères, et de maintenance plus aisée.

#### La technologie du contrôle direct de couple (DTC)

Le contrôle direct de couple (DTC) [1, 2, 3] est la technique de commande des moteurs introduite par ABB en 1994 comme solution universelle pour les entraînements à vitesse variable basse tension (BT) et récemment adaptée pour les entraînements

moyenne tension (MT). C'est précisément cette technologie qui est utilisée pour commander les moteurs asynchrones d'entraînement de la ligne de recuit et de décapage de l'usine Baoyong Special Steel.

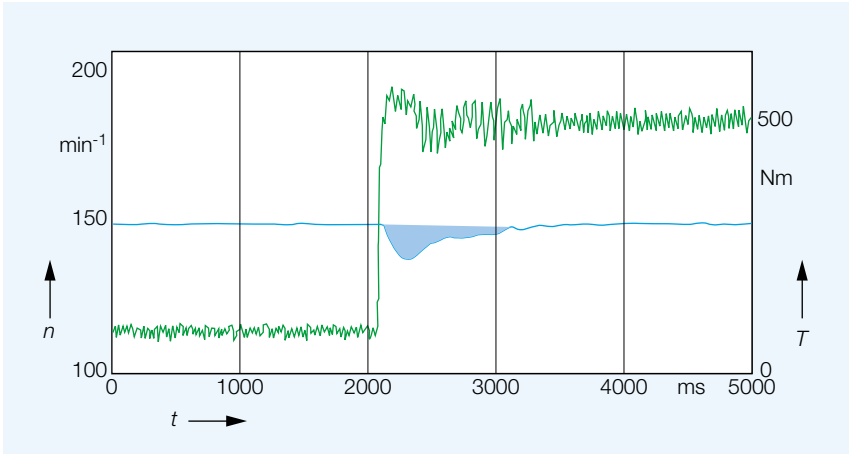
Contrairement à la technique traditionnelle de contrôle vectoriel de flux, où les paramètres affectant la tension et la fréquence (ex., flux et courant moteur) sont mesurés indirectement et le recours à un capteur de vitesse (codeur incrémental) est obligatoire pour atteindre un haut degré de précision, la technologie DTC permet la commande en temps réel et en souplesse du moteur sans retour codeur. De même, le contrôle vectoriel de flux impose l'utilisation d'un modulateur, ce qui rallonge quelque peu le temps de réponse aux transitoires de couple et de vitesse. La technologie DTC, quant à elle, utilise une théorie avancée de commande des moteurs pour calculer directement le couple sans modulateur; les variables de commande sont le flux statorique et le couple moteur.

Lorsque des entraînements en boucle ouverte à technologie DTC sont installés,

**Tableau 4**  
**Erreur de vitesse statique et dynamique avec la technologie DTC, le contrôle scalaire et le contrôle vectoriel de flux**

Erreur de vitesse	Contrôle scalaire (sans retour codeur)	Contrôle vectoriel de flux (avec retour codeur)	DTC (sans retour codeur)	DTC (avec retour codeur)
Statique	± 1 à 3 %	± 0,01 %	± 0,1 à 0,5 %	± 0,01 %
Dynamique	3 %	0,3 %	0,4 %	0,2 %





**Contrôle direct de couple (DTC) et précision dynamique**

5

*n* Vitesse  
*T* Couple  
*t* Temps

Bleu Vitesse  
Vert Couple

tem) 6. De par cette intégration, un système automatisé de production englobe des fonctionnalités qui vont de la commande d'un moteur d'entraînement à la conduite/supervision complète du site industriel.

**Les stations opérateurs OCS**

Les stations opérateurs Advant OCS accèdent directement à une base de données dans laquelle sont stockées toutes les données relatives à la ligne de traitement. Intégrées aux pupitres de commande d'entrée

et de sortie de la ligne de traitement, les stations OCS traitent les alarmes et affichent les informations sur chaque section et constituent donc des postes de suivi de production. Par exemple, les conditions générales de démarrage, les valeurs de couple et de vitesse moteur peuvent être visualisées et pré-réglées à partir de ces stations.

Le suivi de bande est une des principales fonctions réalisées par le système Advant OCS 7. Il assiste l'opérateur dans

son travail, notamment par un suivi des soudures entre bobines pour que la position de la bande dans la ligne et la longueur de bande introduite dans la section d'entrée et rebobinée en sortie soient toujours connues.

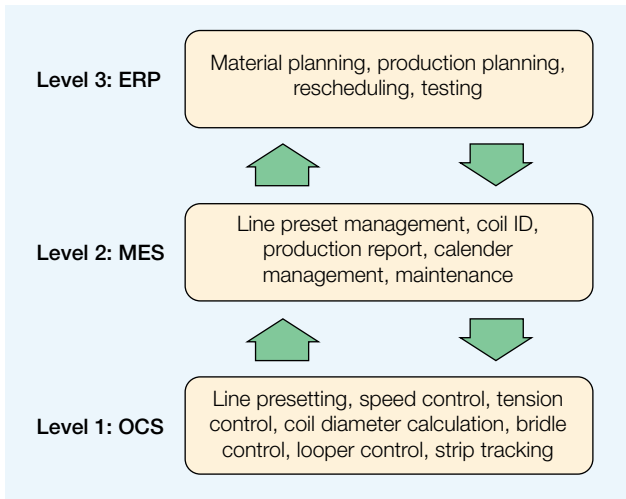
**Système de contrôle-commande industriel ouvert Advant d'ABB**

Avec son système de contrôle-commande industriel ouvert Advant OCS, ABB propose une plateforme standard et moderne en architecture ouverte pour l'automatisation industrielle. Le système à technologie orientée objet et basée sur une structure distribuée, inclut des stations opérateurs hautes performances, haute disponibilité et de maintenabilité aisée. Toutes les stations procédé et opérateur sont interconnectées par un bus système. Les stations de conduite de procédé communiquent avec les E/S déportées sur un bus de terrain. Chaque étape du procédé industriel peut être commandée, contrôlée et surveillée à partir de chacune des stations opérateurs.

**La solution standard ABB**

Des automates programmables industriels (API) gèrent l'échange des signaux entre les différentes sections de la ligne. La solu-

**Principales fonctions du système de contrôle-commande industriel ouvert (OCS), du système de gestion de fabrication (MES) et du système d'intégration des données de gestion et de production (ERP)**

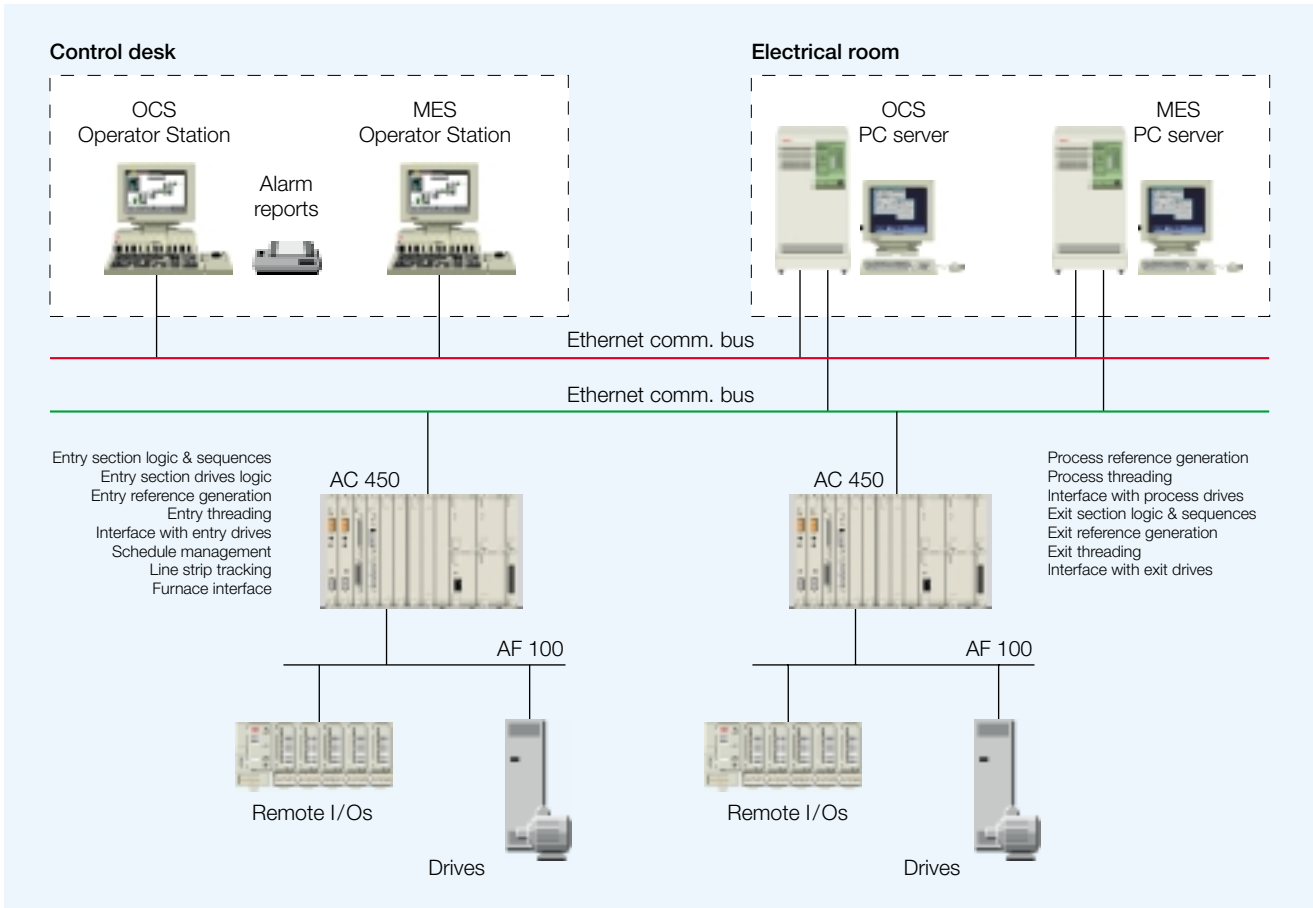


6

**OCS: affichage de suivi de bande avec valeurs de consigne et valeurs réelles de vitesse et de tension de bande des différentes sections de la ligne. Le système affiche également des informations sur les bobines en entrée et en sortie (ex., code bobine et longueur de bande restante).**

7





**Architecture du système avec deux API multiprocesseur assurant le contrôle-commande de la ligne complète. Sur le pupitre de commande, l'opérateur visualise toutes les opérations de la ligne.**

3

tion standard ABB pour une ligne de traitement de tôle d'acier inclut actuellement deux automates programmables (AC450) **3** dédiés aux applications de la métallurgie. Un large choix de fonctionnalités standard et de modules progiciels simplifie l'élaboration de solutions fiables répondant précisément aux besoins de chaque client.

Le premier automate AC450 multiprocesseur assure le pilotage de la section d'entrée, gère les fonctions de suivi et de pré réglage, alors que le second API est interfacé avec les sections de traitement et de sortie. Pour alléger quelque peu la charge des API, certaines fonctions sont décentralisées dans les variateurs de vitesse, notamment la plupart des fonctions applicatives de commande des moteurs. Les gros systèmes d'entraînement sont en fait reliés au bus de terrain AF100 à haut débit, dédié aux applications vitesse variable, et commandés par un contrôleur d'application (APC). Le logiciel du contrôleur APC in-

clut des modules fonctionnels pour la régulation de vitesse, la régulation de courant et la régulation de traction. Des modules d'E/S déportés communiquent également sur le bus de terrain AF100 avec l'automate de commande.

Les fonctions du système de contrôle-commande standard couvrent l'élaboration de toutes les séquences, des consignes de vitesse et d'accélération pour les entraînements et les signaux de démarrage et d'arrêt de la ligne. Les fonctions spécifiques à l'application sont modifiées selon le cahier des charges du projet.

**Le système de gestion de fabrication (MES)**

La maîtrise de la qualité s'appuie non seulement sur un bon contrôle de tous les paramètres technologiques du produit laminé, mais également sur un contrôle total du procédé industriel. La coordination nécessaire est réalisée par des fonctions de ges-

tion de fabrication (Manufacturing Execution System – MES) réparties en fonctions opérateur et fonctions procédé.

*Fonctions Opérateur*

Il s'agit des fonctions suivantes:

- *Gestion des ordres*, donne la liste des bobines à traiter et des informations détaillées sur chaque bobine telles que dimensions, caractéristiques principales (code bobine, identification des nuances d'acier pour le four de recuit et le décapage, code client) et caractéristiques finales voulues.
- *Gestion pré réglage ligne* **9**, regroupe des données de pré réglage de la ligne avant le lancement de production; le pré réglage de tous les équipements électriques et mécaniques est basé sur les données relatives aux ordres. Les données bobine fournies par les fonctions de gestion des ordres et de pré réglage ligne affectées à la bobine consti-

PROFIL	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T	T
1000001	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T	T
1000001	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T	T
1000001	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T	T
1000001	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T	T

**MES: fonction Gestion préreglage ligne. Toutes les données de préreglage de la ligne sont entrées dans cet écran.**

9

Call Date	Call Date	Call Date	Call Date	Call Date	Call Date	Call Date	Call Date
1000001	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T
1000001	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T
1000001	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T
1000001	PROFIL	SPEC	S	S	T	T	T

**MES: fonction Etats bobine. Informations sur les paramètres technologiques et de qualité du produit laminé.**

10

tuent les données de préreglage envoyées au système OCS pour le traitement correct de la bobine.

- *Etats bobine* **10**, affichage et impression éventuelle de données sur les bobines traitées. Les principaux affichages sont l'état «qualité produit» (données d'épaisseur, de planéité, d'allongement) et l'état «produit technologique» (four, recuit, données de répartition d'épaisseur, de planéité et d'allongement destinées à l'ingénieur procédé).
- *Etats production*, avec affichage du nombre de bobines produites et d'informations sur les équipes (les états de production peuvent être élaborés par équipe, par jour ou par mois de production). Il est également possible d'élaborer des états de suivi des temps machine (temps de marche / temps d'arrêt) et de consommation de décapant.
- *Etat maintenance*, avec affichage du temps de fonctionnement réel des équipements mécaniques et électriques.

#### Fonctions Procédé

Ces fonctions sont automatiquement activées par le système dès qu'un message est reçu ou en cas d'événement au sein de l'atelier.

- *Suivi des produits laminés*; surveillance de la position de la bobine dans chaque section de la ligne.
- *Acquisition de données*; collecte d'informations du système OCS sur la dérou-

leuse et l'enrouleuse, sur les sections de planage sous traction et de traitement, et archivage dans la base de données du système.

Les systèmes d'automatisation de la ligne de recuit et de décapage utilisent des modèles mathématiques poussés de commande de la ligne de traitement avec une incidence directe sur la qualité globale du produit laminé. Dans le cas du four, par exemple, le modèle mathématique utilise la vitesse de défilement, le type d'acier, la largeur et l'épaisseur de la bande comme informations de base pour convertir les caractéristiques de recuit en paramètres d'exploitation. Un modèle peut également être fourni pour l'opération de décapage, notamment pour contrôler avec précision le dosage d'acide nécessaire pour obtenir une surface propre et brillante.

#### Conclusions

Les moteurs asynchrones commandés par des variateurs de vitesse à technologie DTC et les systèmes de contrôle-commande et de gestion de fabrication constituent un véritable levier d'amélioration des performances des lignes de traitement au sein de l'industrie métallurgique. Les métallurgistes peuvent exploiter tout le potentiel de ces outils puissants pour contrôler avec plus de précision les produits fabriqués, en termes quantitatif et qualitatif.

#### Bibliographie

- [1] M. Aaltonen, P. Tiitinen, J. Lalu, S. Heikkilä: Régulation directe du couple d'entraînements à courant triphasé. Revue ABB 3/95, 19–24.
- [2] ABB Industrial Manual: Electric drive systems, 349–350.
- [3] P. Vas: Sensorless Vector and Direct Torque Control, 551–559. Oxford University Press, 1998.

#### Adresse des auteurs

Luca Zanella  
Vincenzo Spinelli  
ABB Industria SpA  
IT-20099 Sesto San Giovanni (Mi)  
Italy  
Telefax: +39 02 262 32 480  
E-mail:  
luca.zanella@it.abb.com