

Qualitätssicherung bei der Feuerverzinkung durch Kontrolle der Gasatmosphäre

H. Falk (Wissenschaftliche Beratung Prof. Falk, Kleve),
M. Falk (Falk Steuerungssysteme GmbH, Stadthagen)
und

F. Macherey, M. Norden, C. Trachternach, T. Wuttke (ThyssenKrupp Steel Europe AG, Duisburg)

Zusammenfassung:

Die Bedeutung der Gasatmosphäre in Durchlaufglühanlagen für die Feuerverzinkung ist experimentell nachgewiesen und theoretisch begründet worden[1, 2]. Um eine gute Benetzbarkeit des Stahls mit flüssigem Zink zu erzielen, muss die Vorgaben der Wasserdampfkonzentration des Prozessgases zur Formierung der Oberfläche eingehalten werden[3].

Die Verteilung von Argon-Testgas in einer Durchlaufglühanlage wird mittels Massenspektrometer gemessen. Daraus werden die Zeitverläufe der Testgaskonzentration in den Anlagenteilen ermittelt. Die im Ofensystem ablaufenden Strömungsvorgänge können mit diesen Daten modelliert werden um Vorgaben für die Prozessführung abzuleiten.

Einführung und Zielstellung

Die Benetzbarkeit von Stahl mit Zink hängt entscheidend von der Oberflächenkonditionierung während der Behandlung in einer Durchlaufglühanlage ab. Die optimalen Parameter für Temperatur, Wasserstoff- und Wasserdampfkonzentration können in Simulationsanlagen bestimmt werden[1, 2]. Insbesondere bei Mehrphasenstählen ist die selektive Oxidation der Stahloberfläche in der Durchlaufglühanlage vor dem Eintauchen in die Zinkschmelze wichtig für die Benetzbarkeit [3]. Zur Steuerung dieses Prozesses muss die Wasserdampfkonzentration innerhalb vorgegebener Grenzen liegen, welche ihrerseits von der bearbeiteten Stahlqualität abhängen. Um die mittels Simulationsanlage erhaltenen optimalen Bedingungen auf eine Feuerverzinkungsanlage übertragen zu können, ist die Kenntnis der Strömungsverhältnisse in der Anlage erforderlich, damit die räumliche Verteilung von eingebrachtem befeuchteten Gas eingeschätzt werden kann. Durch Einspeisung von Argon als Testgas und massenspektrometrischer Bestimmung der Argonkonzentration an verschiedenen Entnahmeorten an der Anlage entsprechend Abb. 1 können Rückschlüsse auf die Gasverteilung unter Betriebsbedingungen gezogen werden. Dabei wurde das Ziel verfolgt, die relativen Anteile des Testgases in der gesamten Anlage und die zugehörigen Zeitkonstanten in Abhängigkeit von den Betriebsbedingungen zu bestimmen.

Experimentelles

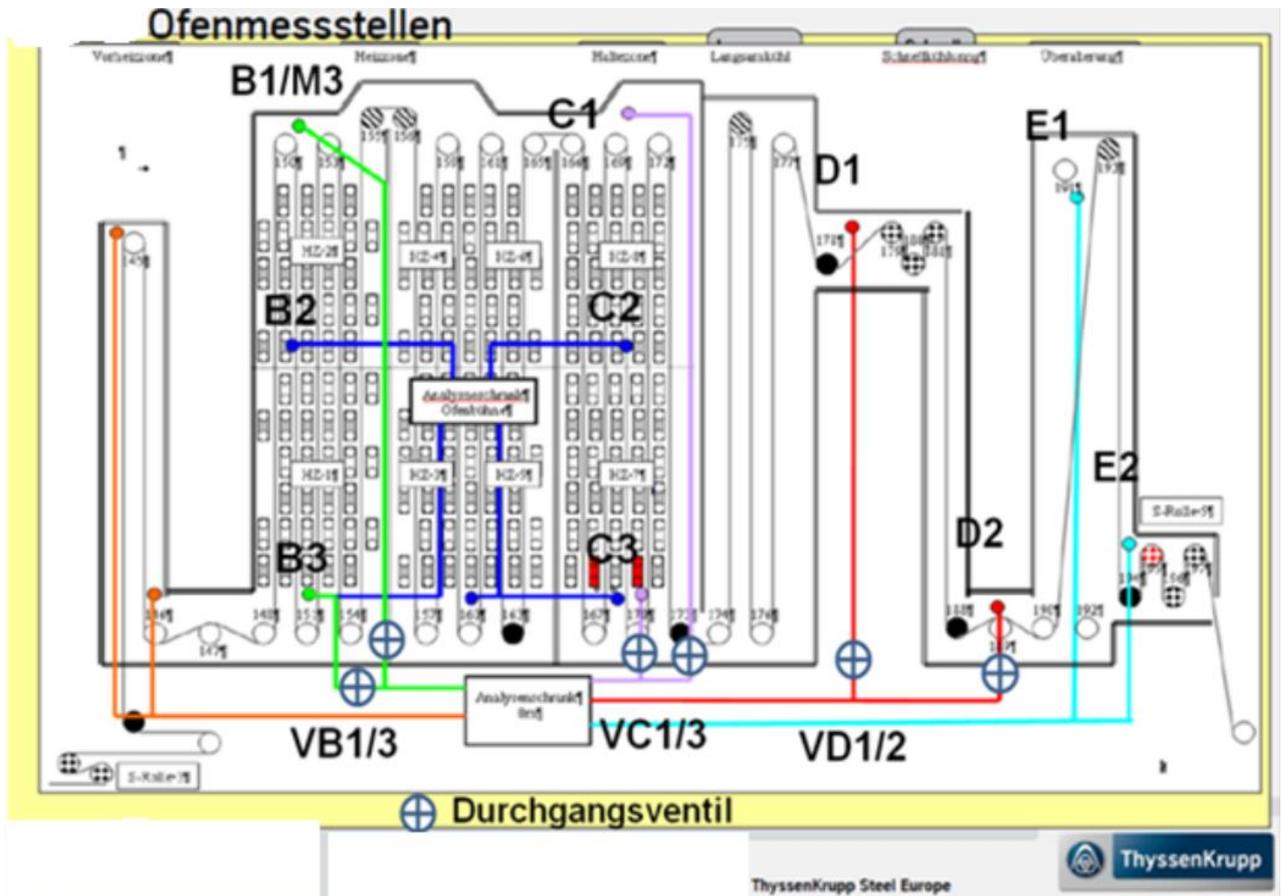


Abb. 1. Ofenschema mit Messstellen B bis E.

Abb. 2 zeigt den zu erwartenden Konzentrationsverlauf für das Argon-Testgas. Argon wird für eine bestimmte Zeit in die Haltezone eingeführt, wodurch dessen Konzentration etwa exponentiell ansteigt und wieder abfällt. Der Konzentrationsanstieg in den von der Einspeisung entfernten Anlagenteilen erfolgt verzögert.

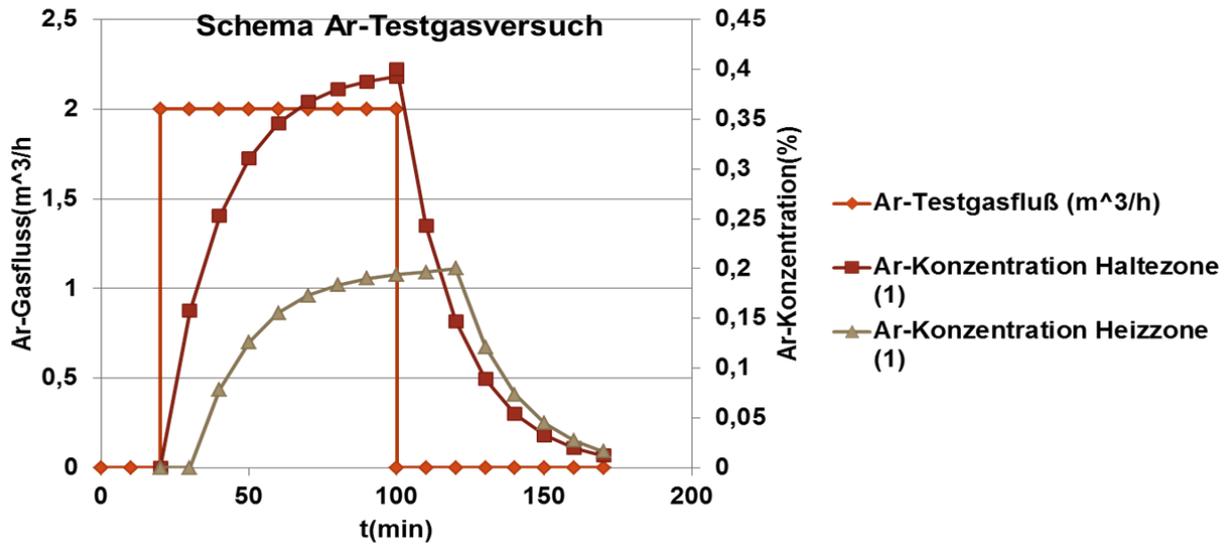


Abb. 2. Schematischer Versuchsablauf mit Argon-Testgas.

Zu Vergleichszwecken wurden während der Versuche Gasproben mit Hilfe einer „Gasmaus“ genommen und im Labor analysiert. Einige Ergebnisse sind in Tab. 1 enthalten. Innerhalb der Messfehler ergibt sich gute Übereinstimmung beider Messverfahren.

Gasmaus-Mess-Nr.	Mess-Bedingungen	Versuchszeit(s)	Gasmaus	Gasmaus	Ar-Test
			Ar(Vol %)	Ar(mbar)	Ar(mbar)
Pr. 3	1.8.12; 12:47; M3	1620	0,08	0,81	0,86
Pr. 4	1.8.12; 15:10; M3;Ar- Einleitung	2916	0,17	1,72	1,4
Pr. 5	2.8.12; 8:26; M3; Ar- Einleitung	3066	0,18	1,82	1,75

Tab. 1. Vergleich der gemessenen Ar-Konzentrationen für kontinuierliche Bestimmung und separate Erfassung mittels „Gasmaus“.

Messergebnisse

Wiederholte Messungen unter gleichen Bedingungen sind in Abb. 3 dargestellt, welche eine befriedigende Übereinstimmung zeigen.

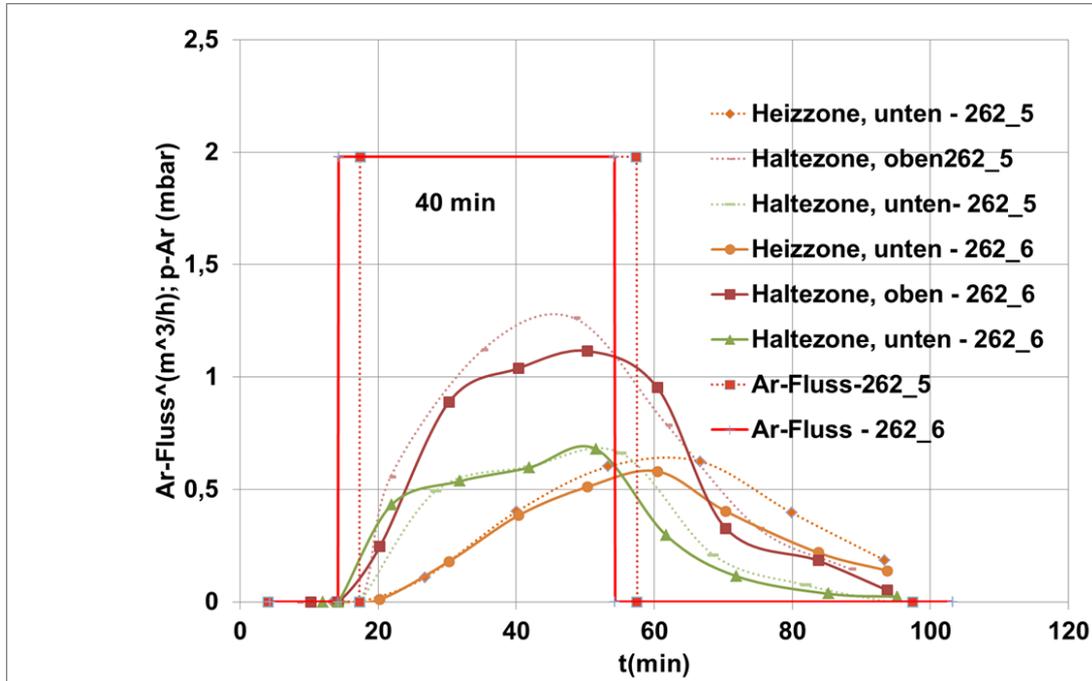


Abb. 3 Wiederholungsmessung unter gleichen Betriebsbedingungen.

Der Einfluss der Bandgeschwindigkeit auf die Testgasdrücke ist Abb. 4 zu entnehmen. Die höhere Bandgeschwindigkeit bewirkt eine deutliche Verringerung der maximalen Ar-Konzentration. Ein quantitativer Vergleich der maximalen Ar-Drücke ist in Tab. 2 dargestellt.

vBand / Nr.	relative Verminderung vBand	rel. Zunahme max. Ar-Druck				Schnell kühlung, oben	Schnell kühlung, unten
		Heizzone, oben	Heizzone, unten	Haltezone, oben	Haltezone, unten		
60 m/min / 138 m/min							
262_7 / 262_6	2,3	2,8	2,1	1,7	1,8	3,2	5,0

Tab. 2. Einfluss der Bandgeschwindigkeit auf den maximalen Ar-Testgasdruck.

Die maximale Ar-Konzentration in Haltezone, Heizzone und Schnellkühlung nimmt mit Zunahme der Bandgeschwindigkeit stark ab. Der Einfluss der Bandgeschwindigkeit auf die Ar-Konzentration ist in Heizzone und Schnellkühlung höher.

Der Anteil des in die Haltezone eingeführten Testgases, welcher noch in die anderen Anlagenteile gelangt, ist aus Tab. 3 ersichtlich. Dieser Anteil nimmt mit der Bandgeschwindigkeit deutlich zu, somit wird dann das Testgas gleichmäßiger über die Anlage verteilt. Die oben ermittelten relativen Ar-Testgasanteile sind untere Schranken, da die Ar-Gleichgewichtskonzentrationen in Heizzone und Schnellkühlung noch nicht erreicht wurden.

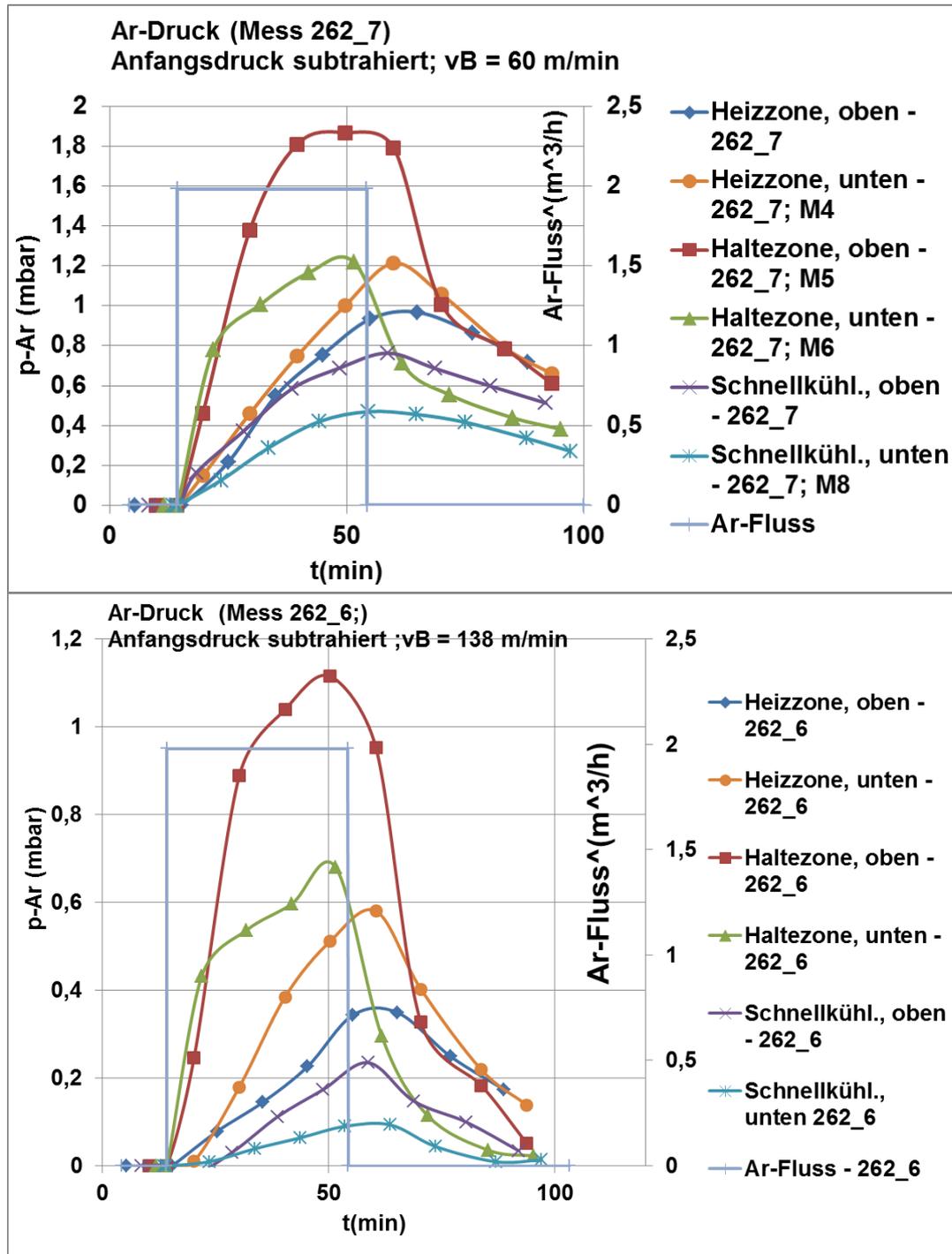


Abb. 4. Signalverläufe der Ar-Druckänderung für Bandgeschwindigkeiten 138 bzw. 60 m/min.

rel. Ar-Testgasdruck Heizzone und Schnellkühlung zu Haltezone (= 100 %)			
Nr.	vBand(m/min)	Heizzone	Schnellkühlung
262_6:	138	71%	40%
262_7:	60	52%	18%

Tab. 3. Ar-Testgasverteilung in der Anlage.

Diskussion der Ergebnisse

Die Messungen mit Ar-Testgas haben gezeigt, dass die Bandbewegung erheblichen Einfluss auf die Gasverteilung in der Anlage ausübt. In den in Abb. 1 dargestellten Ofenzonen wird das Füllgas durch das Stahlband je nach Bandrichtung nach unten bzw. nach oben mitgenommen. Dieser Vorgang ist in Abb. 5 schematisch dargestellt.

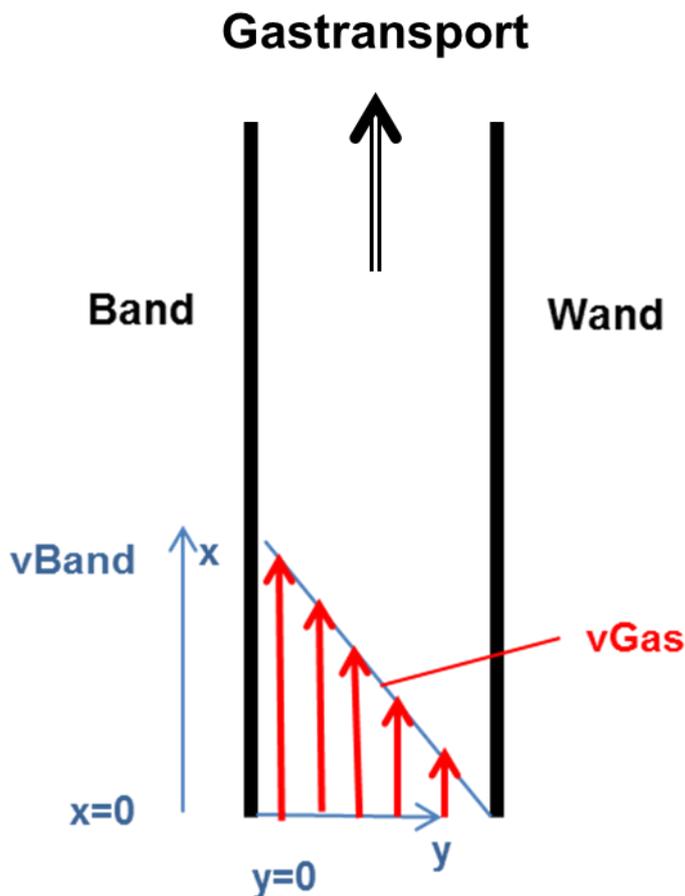


Abb. 5. Schema des durch die Bandbewegung erzeugten Gastransports. v_{Band} – Bandgeschwindigkeit, v_{Gas} – Gasgeschwindigkeit.

An der Bandoberfläche nimmt das Gas die Bandgeschwindigkeit an, so dass sich zwischen dem bewegten Band und den ruhenden Anlagenteilen ein Geschwindigkeitsgefälle ausbildet. Abgesehen von einer Einlaufstrecke stellt sich zwischen Band und Wand ein stationäres Geschwindigkeitsgefälle ein, wie in Abb. 5 dargestellt. Die mittlere Gasgeschwindigkeit zwischen Band und Wand ist dann gleich der halben Bandgeschwindigkeit. Der durch das Band bewirkte Gastransport führt zu einer Gasumwälzung innerhalb des Ofens. Einige Ergebnisse der Strömungssimulation für die betrachtete Verzinkungsanlage sind in Tab. 4 dargestellt.

Anlagenteil	Betriebsgas Volumenstrom bei Normdruck - jG	Teil-Volumen Anlage - VG	Ortskoodinate in Gasstromrichtung -	mittlere Gastemperatur - TG	Gasgeschwindigkeit, Drift - vG	Zeit nach Start Testgas bis Ort xM - t(x) (vB =	Bandgeschwindigkeit - vB	Zeitkonstante Testgas in x-Richtung durch Bandbewegung (Umwälzung des Ofenvolumens)
	m^3h^{-1}	m^3	m	°C	m/s	min	m/s	min
Testgas Ar V2	120	253	30	800	0,0094	53	1,6	5
Testgas Ar V3	60	254	20	700	0,0035	95	1,6	4
Testgas Ar V4	60	193	20	400	0,0031	107	1,6	4

Tab. 4. Ergebnisse der Strömungssimulation für drei Anlagenvolumina.

Aus Tab. 4 ist erkennbar, dass die Bandbewegung zu einer deutlich schnelleren Durchmischung der im Ofen vorhandenen Gase führt, als das durch die Gaszufuhr allein der Fall wäre. Das bedeutet, dass innerhalb eines Teilvolumens der Anlage keine großen Konzentrationsunterschiede bei einer Änderung des Taupunktes des zugeführten Gases auftreten. Die Zeit zur Erreichung eines neuen Gleichgewichtszustandes wird dadurch nicht wesentlich vermindert. Die in der vorliegenden Untersuchung erhaltenen Ergebnisse sind auch auf andere Anlagen übertragbar, erfordern aber eine Anpassung der Simulationsparameter.

Zusammenfassung

Die mittels Schmelztauchsimulatoren erhaltenen Optimierungsergebnisse für Gasphasenreaktionen können über Modellierung auf die Feuerverzinkungsanlage übertragen werden.

In die Haltezone eingeführtes Gas gelangt sowohl in die Heizzone als auch in die Schnellkühlung mit unterschiedlichen Anteilen.

Die Bandbewegung führt zu einer Gasumwälzung mit einer charakteristischen Zeit von 4 bis 5 min.

Die Einstellung eines Konzentrationsgleichgewichtes nach einer Änderung des Gasflusses in die Haltezone erfordert 40 bis 60 min.

Eine niedrigere Bandgeschwindigkeit führt zu einer höheren Konzentration eines der Haltezone zugeführten Gases.

Der Abbau einer vorhandenen Gleichgewichtskonzentration nach Abschalten einer Gaszuführung zur Haltezone erfolgt bei höherer Bandgeschwindigkeit schneller.

Für verschiedene Anlagentypen sind individuelle Modellierungen erforderlich.

Literatur

[1] Heinz Falk and Martin Falk; Steel Research Int. 81 (2010) 4, p. 320 – 324.

[2] M. Norden, Dissertation „Heterogene Glühgas/Metall-Reaktionen in der Schmelztauchveredelung höherfester Mehrphasenstähle“, RWTH Aachen(2011).

[3] JP8170159 (A) - HOT DIP GALVANIZATION OF SILICON ADDED HIGH TENSILE STRENGTH STEEL MATERIAL (1996).