

Redukowanie kosztów eksploatacyjnych dzięki prawidłowej temperaturze wygrzewania w piecu

Optymalne warunki wygrzewania są nie tylko znaczące dla jakości lakierowania, umożliwiają także redukcję zużycia energii. W związku z tym, w praktyce, powinno się poświęcać więcej uwagi pomiarowi temperatury w piecu. W poniższym artykule przedstawione są niektóre aspekty tego zagadnienia, na które należy zwrócić w praktyce uwagę.

Wobec rosnących kosztów energii i coraz większych wymagań jakościowych dotyczących lakierowania i malowania, dokładna znajomość temperatury zarówno w piecu, jak i temperatury detalu jest istotnym czynnikiem decydującym o jakości, a także ważnym elementem ekonomicznym procesu.

Podstawy pomiaru temperatury

Rejestrację temperatury można wykonywać różnymi metodami pomiarowymi. Rozpowszechnioną techniką jest zastosowanie termoelementów (typ K, J, N itp.), termometrów oporowych (PT-100, PT 1000) i pomiary bezstykowe (na przykład za pomocą podczerwieni).

Termoelement

W formie podstawowej termoelement składa się z dwóch drutów z różnych stopów. W miejscu połączenia drutów (zgrzewanych lub skręcanych) napięcie termoelektryczne spada w zależności od temperatury. Funkcja ta nie jest liniowa. Ponieważ wartość napięcia jest bardzo mała, to sygnał pomiarowy musi być bardzo wzmocniony w celu dalszego przetwarzania. Zaletą termoelementów w ich pierwotnej formie jest zdolność szybkiego reagowania. Wadą jest stosunkowo wysoki błąd pomiarowy spowodowany brakiem liniowości.

Element oporowy PT-100

Element oporowy składa się z płytki ceramicznej jako materiału nośnego z napyłonym opornikiem. Jako materiał reagujący używana jest

przykładowo platyna (Pt). Opór zmienia się w zależności od temperatury. Funkcja ta jest liniowa.

Zaletą tego systemu jest wysoka dokładność pomiaru i zależność liniowa. Wadą jest teoretyczna bezwładność tego systemu.

Zastosowanie pomiaru temperatury

W praktyce pomiary temperatury wykonujemy dla realizacji dwóch celów:

- ♦ Regularna kontrola warunków wygrzewania, kontrola jakości, badanie próbek większej serii,
- ♦ Optymalizacja procesu, a więc redukcja kosztów energii i czasu cyklu pracy.

Parametry wygrzewania

Dla uzyskania idealnej powłoki malarskiej konieczne jest przestrzeganie warunków technicznych we wszystkich etapach procesu technologicznego. Po prawidłowym przygotowaniu powierzchni i nałożeniu farby, dokładne stosowanie parametrów wygrzewania podawanych przez producentów farb jest trzecim zabiegiem o podstawowym znaczeniu dla jakości wyrobu.

Błędy przy wygrzewaniu powłok malarskich i ich przyczyny

Faktyczne koszty usterek powłok malarskich często są błędnie szacowane. Prawidłowe przybliżone obliczenie wygląda następująco:

- ♦ Rozpoznanie błędu bezpośrednio w produkcji: koszty x 1 + zdenerwowanie,
- ♦ Rozpoznanie błędu u klienta: koszty x 10 + zdenerwowanie + strata dobrego wizerunku,

Tab 1. Usterki powłoki i ich powody.

Usterka	Powód	Wczesne wykrywanie
		pomiary w piecu
brak przyczepności	za krótki czas wygrzewania? zbyt niska temperatura? nieprawidłowe przygotowanie? błędny cykl?	nacięcie krzyżowe
za wysoki stopień połysku	czas wygrzewania zbyt krótki? za niska temperatura? błędny cykl?	
za niski stopień połysku	czas wygrzewania zbyt długi? za wysoka temperatura? błędny cykl?	pomiar stopnia połysku
silne żółknięcie	błędny cykl? czas wygrzewania zbyt długi?	badanie farby
zła wytrzymałość na czynniki pogodowe	za krótki czas wygrzewania? zbyt niska temperatura? błędny cykl?	badanie farby pomiar stopnia połysku

- ◆ Rozpoznanie błędu u odbiorcy końcowego: koszty x 100 + zdernerwowanie + strata dobrego wizerunku.

Poniższy przykład pokazuje jak temperatura rzeczywista w piecu z obiegami powietrza może różnić się od pożądanej – pracownik sądził, że wszystko jest w porządku. Na szafce sterującej przy nastawie temperatury żądanej na 210°C, wskazywana była temperatura mierzona 208°C do 214°C.

Praktyczny przykład: różnica wartości żądanej i rzeczywistej pieca konwekcyjnego. Pomiary temperatury w piecu wykazały w rezultacie duże różnice (patrz diagram). Przyczyny tego są następujące:

Wskazanie temperatury nie było kalibrowane (błąd + 3°C, offset - 0,8°C),

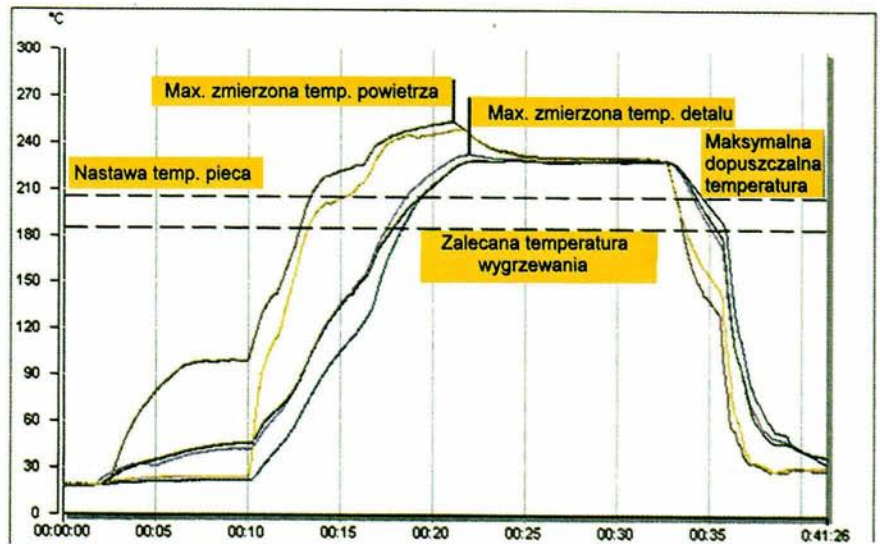
- ◆ Jedyny czujnik powietrzny był oddalony od wlotu ciepłego powietrza, tzn. zbliżony do najzimniejszego punktu pieca,

- ◆ Kierowanie przepływem powietrza było wadliwe przez dwa wloty powietrza w pierwszej tercji suszarki.

Dla przedsiębiorcy oznacza to wysokie koszty energii. Powłoka farby proszkowej wykazuje przegrzanie i brak połysku (może dojść także do zmian koloru w skutek żółknięcia). Żeby temu zapobiec należy kalibrować czujniki, zmienić ich położenie, a także przebudować kanały powietrzne.

Optymalizacja procesu

Wiele przedsiębiorstw posiada obecnie certyfikat ISO 9000. Oznacza to także, że ich przyrządy pomiarowe winny być regularnie sprawdzane. W praktyce jednak stwierdzamy, że w przedsiębiorstwach produkcyjnych kwestia pomiarów jest zwykle całkowicie ignorowana. Ponieważ z reguły w takich instalacjach stosowane są elementy PT-100, to każdy



rys.1 Zmierzone rozkłady temperatury w piecu.

użytkownik może sam przeprowadzić kalibrację czujników za pomocą prostych środków.

Kalibrację wykonuje się następująco: Należy zakupić oporniki $R1 = 100,00R (Ohm) = 0,00^{\circ}C$, $R2 = 180,00R = 211,34^{\circ}C$.

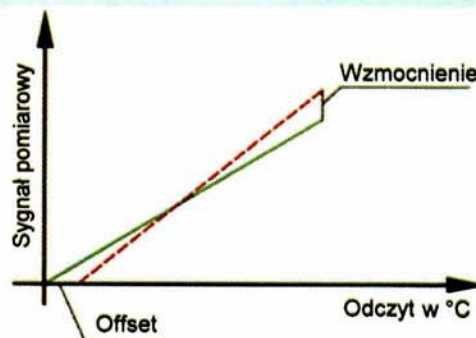
Najpierw korygowany jest offset, tzn. przesunięcie punktu zerowego. W tym celu czujnik temperatury w piecu zostaje odłączony i zastąpiony przez opornik R1, wskaźnik na szafce sterującej ustawiany jest na $0,00^{\circ}C$. Następnie dołączany jest opornik R2, na skrzynce ustawiana jest temperatura $211,34^{\circ}C$ – w ten sposób ustawiane jest wzmocnienie. Taka procedura może być wykonana dla jednego punktu w ciągu kilku minut. W ten sposób kompensowany jest cały łańcuch pomiarowy, a więc błędy na przewodach i błędy wzmocnienia w szafce sterującej. W zależności od producenta oporników po-

miarowych koszty materiałowe wynoszą od kilku do 200 PLN.

Kolejnym ważnym zagadnieniem jest czyszczenie czujników. Warstwa kurzu i resztek lakieru, gromadząca się w ciągu roku na ściankach suszarki, pokrywa także czujnik. Warstwa ta działa jak izolator i tłumi sygnał. Oznacza to, że mierzona i wykazywana temperatura jest niższa od rzeczywistej. W ten sposób sterowanie otrzymuje informację o niższej temperaturze rzeczywistej i piec pracuje w coraz wyższej temperaturze. Z reguły wystarcza wyczyszczenie czujnika szczotką drucianą raz na rok.

W wielu nawet dużych suszarkach znajduje się tylko jeden czujnik. Jest to niewątpliwie za mało, a przy tym nie gwarantuje pewności procesu. W przypadku awarii tego czujnika lub nieprawidłowych wskazań całe urządzenie pozostaje nieczynne. Sensowne jest zastosowanie przynajmniej trzech czujników, przy czym jako parametr sterujący przyjmowana jest wartość średnia. Do kontroli tego czujnika może być zastosowane maksymalne dopuszczalne odchylenie wskazania pojedynczego czujnika od wartości średniej. W ten sposób rozpoznawane są błędy każdego z czujników. Aby zaplanować optymalizację pieca należy najpierw zarejestrować stany rzeczywiste. Konieczny jest przynajmniej pomiar temperatury powietrza w obszarze, w którym znajdują się detale. Dla dalszej optymalizacji celowe jest zmierzenie temperatury powietrza w obrębie strefy studzenia i temperatur dachu i ścian pieca.

Poprzez ustawienie wzmocnienia możliwe jest skompensowanie całego łańcucha pomiarowego



Nazwa	Skrót	Jednostka	Wariant 1	Wariant 2	Różnica 2-1
temperatura powietrza w piecu	TU	°C	215,00	205,00	-10,00
temperatura detalu	TW	°C	200,00	190,00	-10,00
śred. roczna temp, powietrza	TF	°C	10,00	50,00	40,00
temperatura pokojowa	TR	°C	22,00	22,00	0,00
masa detali na trawersie	m Ware	kg/Charge	360,00	360,00	
ciepło właściwe detali	c Ware	kJ/(kg*K)	0,94	0,94	
czas podgrzania detali	t Ware	min	22,00	17,00	-5,00
masa trawersy	m WT	kg/dm ³	165,80	131,14	-34,66
ciepło właściwe trawersy	c WT	kJ/(kg*K)	0,49	0,49	
całkowity ciężar pieca	m Tro	kg/dm ³	8 .500,00	8 .500,00	
ciepło właściwe pieca	c Tro	kJ/(kg*K)	0,49	0,49	
czas podgrzania pieca	t Tro	min	60,00	45,00	-15,00
powietrze świeże/zużyte	m Luft	kg/dm ³	650,00	650,00	
ciepłna właściwe powietrza	c Luft	kJ/(kg*K)	1,005	1,005	
średnia gęstość powietrza	Rho Luft	kg/dm ³	1,293	1,293	
zewnętrzne wymiary pieca	L	m	10,00	10,00	
	B	m	9,50	9,50	
	H	m	5,00	5,00	
grubość ścian	S	m	0,10	0,10	
powierzchnia całkowita	A Tr	m ²	385,00	385,00	
przewodność cieplna ścian	L Tr	W/m*K	0,085	0,070	-0,02
trawersy	L	m	6,50	6,50	
	H	m	2,10	2,10	
	B	m	0,50	0,50	
trawersy na godz.	Z WAT		15,27	15,27	
ilość godzin/dzień	Z ST	h/dzień	16,00	16,00	
dni pracy	Z TA	dni	240,00	240,00	
godziny pracy	Z ST*Z TA	h/rok	3 .840,00	3 .840,00	
St. sprawności, palnik gaz, pośr.	W WI	%	80,00	90,00	10,00
koszty energii	Ek DM	DEM/KWh	0,177	0,177	
podgrzanie produktu	Q1	KWh	117,10	75,92	-41,19
podgrzanie nośnika produktu	Q2	KWh	30,48	15,70	-14,78
podgrzanie suszarki	Q3	KWh	111,65	111,65	
podgrzanie powietrza	Q4	KWh	48,10	36,37	-11,73
straty przez ścianki	Q5	KWh	63,16	49,32	-13,84
całkowita moc zakładu	QB	KWh	258,84	177,30	-81,54
całkowity koszt zakładu/ godzinę	E Bh	DEM/h	45,92	31,45	-14,47
całkowity koszt zakładu/rok	E Bj	DEM/rok	176 .328,31	120 .782,20	-55 546,11
całkowita moc podgrzewania	QA	KWh	222,90	197,33	-25,57

$$Q1 = (((m \text{ Ware} \times c \text{ Ware} \times (TW-TR) \times (t \text{ Ware}/60)/3600) \times 100/W \text{ WI}) \times Z \text{ WAT}$$

$$Q2 = (((m \text{ WT} \times c \text{ WT} \times (TW - TR) \times (t \text{ Ware}/60)/3600) \times 100/W \text{ WI}) \times Z \text{ WAT}$$

$$Q3 = ((m \text{ Tro} \times 2) \times c \text{ Tro} \times (TU-TR) \times (t \text{ Tro}/60))/3600$$

$$Q4 = (m \text{ Luft} \times Rho \text{ Luft} \times c \text{ Luft} \times (TU-TF)/3600$$

$$Q5 = (L \text{ TR} \times A \text{ TR} \times (TU-TR)/S)/1000$$

$$QB = Q1+Q2+Q4+Q5$$

$$QA = Q3+Q4+Q5$$



Fot. Piec firmy Adal – zamierzony rozkład temperatur +/-5,3.

Wykorzystanie możliwości optymalizacji

W tab. 2, przedstawiającej zestawienie dwóch wariantów redukcji zużycia energii w malarni usługowej, w kolumnie dla wariantu 1 przedstawione jest teoretyczne zużycie energii pieca proszkowego w instalacji malarni usługowej z konwejerem w systemie Power&Free i trawersami o gabarytach 6,5 x 2,1 m. Malowane są głównie detale aluminiowe. Urządzenie ma 10 lat i jest ogrzewane pośrednio gazem ziemnym. Jako koszt energii przyjęto ceny dla dużych odbiorców (do 2 mln kWh) w rejonie Regensburga. Żeby zorientować się, czy w ogóle istnieją możliwości optymalizacji, należy ustalić ilość ciepła i jej koszty podzielić na poszczególne odbiorniki. W drugim kroku (kolumna dla wariantu 2) można się zastanowić, jakie zmiany są ekonomicznie uzasadnione i możliwe. W tym przykładzie w grę wchodzi redukcja kosztów energii rzędu 120.000-176.000 DEM.

Istotnym czynnikiem odpowiednich warunków wygrzewania jest podział powietrza obiegowego. Jeśli w piecu występują duże różnice temperatur, należy zaplanować czas wygrzewania na najgorsze warunki! Na-

stępnie zbadać faktyczną zależność pomiędzy nastawami na szafce sterującej a temperaturą w obszarze detalu (lub samego detalu). W tym przypadku mogą występować duże różnice w zależności od umiejscowienia czujnika temperaturowego.

Jeśli temperatura powietrza obiegowego jest jednakowa w całej objętości pieca, to zarówno zadana wartość temperatury, jak i czas wygrzewania mogą być znacznie zredukowane, przy takim samym lub lepszym rezultacie wygrzewania. Poprzez taką optymalizację w powyższym przykładzie koszty energii mogą spaść o 28.000 DEM (50 %).

Tak samo jak malowane detale, również trawersy są podgrzewane przy każdym przejściu przez piec. Niewiele można zmienić w tej sprawie w eksploatowanej instalacji. Jednak przy nowych inwestycjach należy koniecznie zwrócić uwagę na grubość ścianek, zarówno trawersów jak i zawieszek. W powyższym przykładzie wymagana była zmiana zużytych trawersów. Przy zakupie nowych grubość ścianek trawersów zredukowana została z 5 do 3 mm, natomiast grubość ścianek zawieszek z 3 na 2 mm. Kontury optymalizowane są poprzez wy-

cinanie laserem. Dzięki tym zabiegom doprowadzono do średniej redukcji masy o 34 kg na każdej trawersie.

Dzięki wspomnianej w tym przykładzie optymalizacji masy koszty energii mogą być zmniejszone o ok. 10.000 DEM lub 18%. Nie wliczono innych aspektów oszczędności, dzięki zmniejszeniu masy trawersów i zawieszek.

Kolejnym ważnym punktem jest izolacja. W eksploatowanym piecu powiększenie grubości izolacji jest zwykle kłopotliwe i drogie. Dlatego przy nowych inwestycjach należy zwracać szczególną uwagę na temperaturę ścian zewnętrznych. Ważna jest przede wszystkim dobra izolacja dachu. W obliczeniach optymalizacyjnych dla malarni usługowej uwzględniono tylko izolację dachu. Dzięki takiej optymalizacji koszty energii mogą być zmniejszone o ok. 9.000 DEM, co odpowiada ok. 17% całej możliwej optymalizacji. W tym wypadku konieczne nakłady przewyższają jednak znacznie możliwe korzyści, dlatego więc ta zmiana nie została przeprowadzona.

Także strefy chłodzenia i zużytego powietrza muszą być uwzględnione podczas tych rozważań. Energia zużyta na utwardzenie lakieru musi

być odebrana w obrębie strefy chłodzenia. Odzyskane ciepło może być wykorzystane do podgrzania świeżego powietrza. Bardzo korzystna jest także strefa chłodzenia sterowana takto. Wentylacja powinna być włączana tylko wtedy, gdy w strefie chłodzenia są detale, a koniecznie wyłączana, gdy drzwi pieca są otwarte. W przeciwnym wypadku w górnych partiach drzwi powietrze będzie zasysane z pieca do strefy chłodzenia. Dzięki optymalizacji podanej w przykładzie koszty energii mogą być zmniejszone o ok. 8.000 DEM, czyli 14,5%.

Warto też przyrzeć się mocy palnika. Palniki gazowe i olejowe ze sterowaniem modułowanym nie mają takiej samej sprawności w całym obszarze pracy. Zarówno przy nowych inwestycjach, jak i przy wymianie zużytego urządzenia nie należy kupować palnika o mocy zainstalowanej znacznie przekraczającej rzeczywiste potrzeby. Takie rezerwy wydajności, które zwykle w zakładach nie są wcale konieczne, mogą prowadzić do znacznego spadku stopnia sprawności. Dzięki optymalizacji możliwe jest podniesienie stopnia sprawności o ok. 10%.

Podsumowanie

Żadna malarnia nie może narażać się na pracę z nieprawidłowymi parametrami wygrzewania. Koszty dodatkowej pracy, poprawek i reklamacji są zawsze wyższe niż koszty urządzeń pomiarowych. Pomiary w piecach są tylko elementem środków zabezpieczających wysoką jakość. Nieuniknione są dalsze testy jak np. nacięcia krzyżowe, gotowanie itp. Pojedynczy pomiar w piecu jest niewiele wart.

Użytkownik winien także pamiętać, że nie ma właściwie niedokładnych urządzeń pomiarowych. Są tylko nieprawidłowe dane nt. dokładności. Dla prawidłowej oceny dokładności należy brać pod uwagę cały system tzn. przyrząd pomiarowy, przewody pomiarowe, czujniki, czas reakcji i odporność na uszkodzenia. Przyrząd tani ani drogi nie musi koniecznie być automatycznie wartościowy.

Jak powinien więc postępować przedsiębiorca przy optymalizacji swojego pieca? Optymalizacja składa się z 5 kroków:

- ♦ ustalenie stanu rzeczywistego,

- ♦ ustalenie podziału energii, najlepiej z producentem pieca,
- ♦ przedyskutowanie i wycena środków do optymalizacji,
- ♦ przeprowadzenie optymalizacji,
- ♦ ustalenie rezultatu optymalizacji.

Przy pytaniu, kto może/powinien przeprowadzić pomiary w piecu, wymieniani są często producenci lakierów. Oni jednak mają inne zadania, zajmują się przecież produkcją farb. Jeśli dla kogoś wykonywanie pomiarów we własnym zakresie jest zbyt drogie, może też wypożyczyć urządzenia pomiarowe lub zlecić taką usługę niezależnym specjalistom.

Przedruk z JOT nr 6/2001, s. 50-55
(www.jot-oberflaeche.de)

Autor: CHRISTIAN SANDER
soluTech GmbH, Waldmünchen
tel. +49 9972/9427-0
info@solutech.de

Tłum. ILONA MAJKOWSKA,
WOJCIECH SOSZYŃSKI
ADAL SP. Z O. O. ADAMÓWEK
tel. +48 (22) 785 01 78
info@adal.com.pl

Sprężarka łopatkowa



standard XXI wieku

BP Techem S.A.

ul. Ludwinowska 17, 02-856 Warszawa,
tel. 022 648 83 38 fax 022 648 83 78
http://www.techem.com.pl
e-mail: hydrovane@techem.com.pl
Oddziały BT Techem S.A.:
Gdańsk 0604 213 302,
Poznań 0-602 572 748,
Tychy 0-602 573 878

MOSS
PLASTIC POLSKA

Moss Plastic Polska Sp. z o.o.
Ul. Łąkowa 11,90 - 562 Łódź.
Tel: + (0-42) 639 52 64
Fax: + (0-42) 639 52 66
e-mail: mosspolaska@moss-plastic.com

www.mossplastics.com

Szeroki zakres wyrobów do zabezpieczeń gwintowanych i gładkich otworów i sworzni w lakierniach proszkowych, tradycyjnych lakierniach natryskowych, lakierniach przy anodyzowaniu, galwanizacjach itp.



Masking SOLUTIONS