

Konceptualna rešitev procesnega vodenja ogrevanja vložka v potisni peči

Conceptual Solution of Process Control of Slabs Reheating in the Pusher Furnace

T. Kolenko, *Oddelek za montanistiko, FNT, Univerza v Ljubljani, Aškerčeva 20*
in

B. Glogovac, *Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, Ljubljana*
in

D. Novak, D. Žagar, *PROMIKRA, Ljubljana*
in

B. Omejc, *Železarna Jesenice, Jesenice*

Raziskava obravnava problem nadzora temperature plošč in porabe plina v potisni peči ter koncept tehnične rešitve procesnega vodenja. Razvili smo model ogrevanja plošč in model za analizo toplotne bilance. Oba modela sta med seboj povezana z izračunom akumulacije toplote v vložku. Glede na to je prikazan izkoristek kemijske toplote plina ob vsakem pomiku plošč, kar omogoča optimizacijo vodenja peči.

The research deals with the computer control of slab temperatures and fuel consumption in the pusher furnace as well as with the concept of technical solution of the process control. The mathematical model of slab reheating and the model of heat balance analysis is developed. Both models are interconnected by the calculation of heat accumulation in slabs. The efficiency of utilisation of heat energy of fuel is shown for each push time interval which enables an optimization of process control.

1 Uvod

Kot cilj procesnega vodenja ogrevanja vložka v industrijskih pečeh navajajo literaturni viri predvsem doseganje željene temperature in enakomernost njene porazdelitve v vložku ob minimalni porabi goriva¹. Vendar dajejo nekatera dela prednost kvaliteti ogrevanja², druga se posvečajo bolj učinkoviti uporabi energije³.

V Železarni Jesenice je potrebno rešiti za ogrevanje vložka v potisni peči nadzor temperature vložka in porabe toplote ter postaviti koncept tehnične rešitve procesnega vodenja. Zato je potrebno skrbno definirati posamezne faze procesa, začetna stanja v sistemu in druge robne pogoje ter upoštevati obstoječo merilno regulacijsko opremo peči. Reševanje tega kompleksnega problema obsega postavitev modela ogrevanja plošč in modela analize toplotne bilance s pomočjo istočasnih meritvenih veličin posnetih na peči s sistemom za zajemanje meritvenih signalov. Drugi model je odvisen od prvega preko izračuna akumulirane toplote v vsaki plošči v odvisnosti od časa oziroma položaja v peči. Rezultat te povezave je časovna odvisnost izkoristka kemijske toplote goriva pri potovanju posamezne plošče skozi peč. Na osnovi izčrpnega računalniškega prikaza parametrov pravilnega ogrevanja je možno z nastavljanjem temperaturnega profila peči optimirati ogrevanje glede na neoporečno ogretje in minimalno porabo energije.

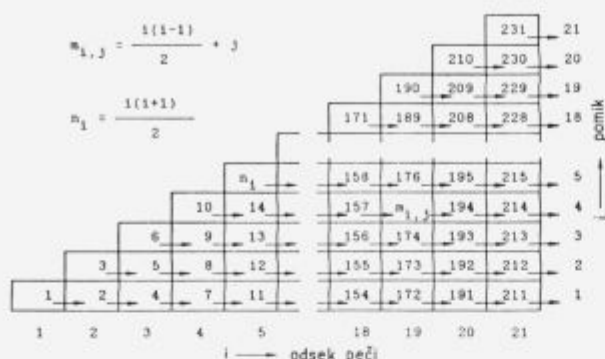
2 Model ogrevanja plošč

Model je zasnovan tako, da je upoštevana vsaka plošča posebej v zanj specifičnih pogojih ogrevanja, ki navadno nastopijo zaradi neenakomernih časovnih intervalov potiskanja. Model upošteva prevajanje toplote v ploščah v eni dimenziji, izmenjavo toplote med dimnimi plini, steno peči in površjem vložka ter prevajanje toplote v steni peči. Rešen je tudi problem urejanja velikega števila podatkov, ki se shranjujejo za vse plošče, ki so trenutno v peči, v trikotne matrike po shemi v sliki 1. Ko plošča peč zapusti, se vsi podatki izpišejo na datoteko ali s tiskalnikom na papir, s čimer je ohranjena zgodovina ogrevanja za vsako ploščo. Iz trikotnih matrik je možno izpisati tudi podatke o trenutnem stanju v peči. Podatki, ki jih zasledujemo so:

- povprečna temperatura plošče
- največja temperaturna diferenca v plošči
- čas zadrževanja plošče na položajih v peči med dvema potiskanjem
- temperaturni profil sten peči
- temperaturna porazdelitev v plošči

Na abscisi trikotne matrike v sliki 1 so navidezni odseki peči, ki jih je toliko kot je plošč v peči. Na ordinato nanesemo pomike, ki jih štejemo od trenutka, ko se je plošča pomaknila s prvega odseka v drugega pa do izstopa plošče iz peči. V diagonalne elemente matrike shranjujemo trenutne vrednosti veličin, v preostalih elementih pa je zapisana zgodovina ogrevanja vsake plošče. Elemente matrike

oštevilčimo od leve proti desni in od spodaj navzgor. Indeks i teče od 1 do števila navideznih odsekov (21) in j od 1 do števila pomikov, ki jim je bila plošča podvržena



Slika 1. Shema shranjevanja podatkov.

Figure 1. Scheme of data storing.

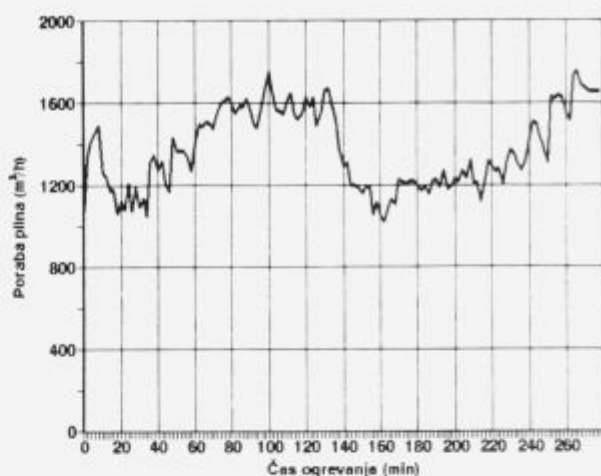
v peči (21). Diagonalni elementi dobijo indeks n , ostali elementi pa m . Ob vsakem pomiku plošč premestimo vrednosti iz stolpca matrike na levi v stolpec na desni strani, kar je v skici nakazano s puščicami. Trenutne vrednosti veličin zapisujemo v diagonalne elemente matrike. Primer zapisa zgodovine plošč in trenutnih stanj v peči ob pomiku prikazujeta tabela 1 in tabela 2.

3 Model toplotne bilance v povezavi z modelom ogrevanja

Model toplotne bilance temelji na meritvenih podatkih, ki jih zajemamo z merilnih pretvornikov na peči. Bistvene so meritve porabe plina in zraka v predgrevni in ogrevni coni v zgornjem in spodnjem delu peči ter v levi in desni polovici izenačevalne cone. Poleg tega je potrebno meriti za popolno analizo toplotne bilance še temperaturo dimnih plinov, temperaturo sten peči in hladilne vode ter časovne intervale potiskanja. Toplotno bilanco prikažemo ob vsakem potiskanju plošč za minuli časovni interval od predhodnega potiskanja. Iz temperaturnih podatkov, ki jih izračuna model ogrevanja, izračunamo akumulacijo toplote v vseh ploščah, ki so v peči. Iz izmerjene porabe plina za obdobje prehoda izbrane plošče skozi peč, ki je prikazana z diagramom v sliki 2, je izračunana kemijska toplota porabljenega plina ob vsakokratnem pomiku plošče skozi peč in prikazana s stolpičnimi diagrami v sliki 3. Z rezultati modela ogrevanja je izračunana časovnim intervalom ustrezna akumulacija toplote v vseh ploščah in prav tako prikazana v sliki 3. To je koristna toplota. Izkoristek kemijske toplote je prikazan ob vsakem pomiku nad stolpičnim diagramom.

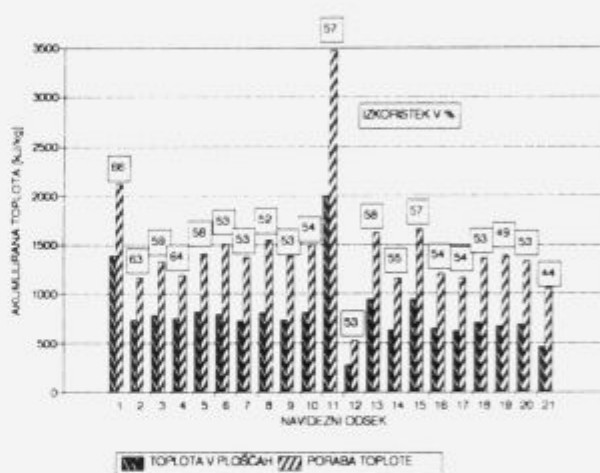
4 Določitev začetne temperature plošč pri toplem zalaganju

V zvezi s procesnim vodenjem je bilo potrebno rešiti tudi problem določanja začetne temperature porazdelitve v ploščah, ki vsebujejo določeno entalpijo kot posledico predhonedega procesa. Začetne temperature porazdelitve v peči pri zalaganju v vročem stanju direktno z meritvami ni mogoče določiti v pogojih normalnega obratovanja. Tudi bi to bilo nesmotno, ker začetno temperaturno stanje ni enolično, ampak se spreminja odvisno od obratovalnih pogojev. Zato smo osnovali določitev začetnega temperaturnega stanja v vročih založenih ploščah, ulitih na napravi



Slika 2. Celotna poraba plina.

Figure 2. Total consumption of fuel gas.



Slika 3. Izkoristek kemijske toplote plina.

Figure 3. Useful heat/total heat input in percents.

za kontinuirno ulivanje, na poznavanju osnovnih zakonitosti procesa kontinuirnega ulivanja plošč. Po svoji naravi je kontinuirno ulivanje jekla predvsem proces odvajanja toplote. Ta poteka v treh glavnih conah odvajanja toplote, ki so: kokila, prhe in podporni valji ter cona sevanja na okolico. Matematična formulacija bazira na osnovni enačbi prevajanja toplote v nestacionarnem temperaturnem polju, obratovalnih podatkih o hladilni vodi, empiričnih podatkih, ki opisujejo zapletene procese odvajanja toplote na površju žile v hladilnih conah in zakonu o sevanju trdnih teles. S spremembo robnih pogojev v matematičnem modelu smo določili tudi potek ohlajanja plošč pod prenosnim pokrovom do transporta plošč v peč. Za ilustracijo dobljenih rezultatov matematičnega modeliranja sta v sliki 4 prikazana diagrama ohlajanja sredine in površja plošče v napravi za kontinuirno ulivanje in pod prenosnim pokrovom.

5 Koncept tehnične rešitve

Za uvedbo računalniškega vodenja ogrevanja plošč v potisni peči v Železarni Jesenice so v podjetju "PROMIKRA" zastavili naslednji koncept tehnične rešitve. Sedaj vodijo

Tabela 1. Zapis podatkov zgodovine ogrevanja plošče.

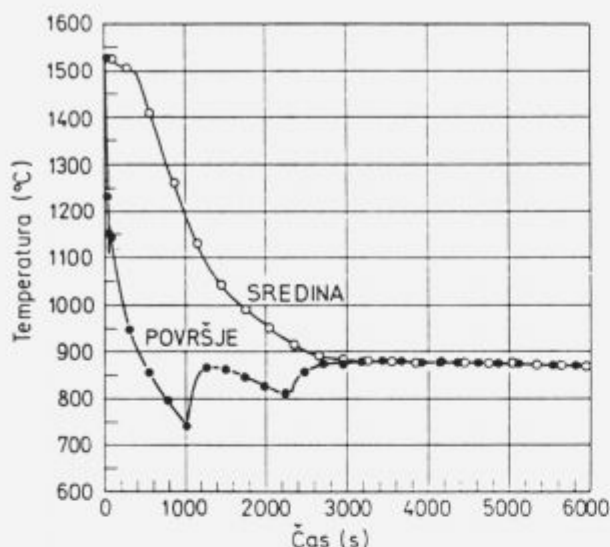
24. interval oz. slab;

odsek	časovni interval		\bar{S} °C	ΔS K	λ W/mK	c_p J/kgK	S_p °C	temperaturni profil v plošči							
	min	s						°C							
1	11	0	89	245	15.0	484	850	55	40	37	48	84	157	282	
2	8	30	137	287	15.7	508	850	77	65	70	95	147	232	352	
3	8	30	182	303	16.4	528	850	108	99	109	143	201	288	402	
4	10	0	232	304	17.0	545	850	151	144	158	195	256	340	447	
5	9	10	276	292	17.7	554	850	196	189	204	241	300	381	481	
6	11	50	339	249	18.5	563	850	295	270	273	302	355	428	519	
7	10	10	487	405	20.5	577	1150	503	416	382	402	474	603	787	
8	11	0	634	329	22.2	599	1150	687	589	544	553	616	725	873	
9	8	10	749	248	24.0	615	1150	870	745	678	669	712	798	916	
10	9	40	864	201	25.2	639	1150	998	887	819	797	819	880	971	
11	8	0	971	208	26.4	674	1280	1105	994	922	897	920	990	1103	
12	10	50	1071	145	27.8	716	1280	1163	1086	1036	1018	1035	1086	1162	
13	8	10	1123	108	28.7	740	1280	1192	1135	1097	1084	1097	1135	1192	
14	8	0	1169	106	29.2	762	1320	1214	1171	1143	1135	1149	1185	1241	
15	9	0	1205	83	29.5	781	1320	1233	1203	1184	1180	1193	1222	1263	
16	12	0	1238	59	29.8	793	1320	1252	1233	1223	1222	1232	1253	1281	
17	10	40	1243	31	29.9	795	1280	1234	1234	1235	1239	1245	1254	1265	
18	8	0	1247	31	29.9	796	1280	1236	1237	1239	1244	1250	1258	1267	
19	8	0	1250	29	29.9	797	1280	1240	1241	1243	1247	1253	1260	1269	
20	8	40	1253	26	30.0	798	1280	1243	1244	1247	1251	1256	1262	1270	
21	10	0	1256	24	30.0	799	1280	1247	1248	1250	1254	1259	1264	1271	

Tabela 2. Zapis trenutnih podatkov o ploščah v peči ob pomiku.

24. interval oz. slab;

odsek	trajanje ogrevanja		\bar{S} °C	ΔS K	λ W/mK	c_p J/kgK	S_p °C	temperaturni profil v ploščah							
	min	s						°C							
1	10	0	83	237	15.0	481	850	53	38	34	43	76	146	270	
2	18	40	133	286	15.7	506	850	75	63	67	91	142	226	349	
3	26	40	177	304	16.3	525	850	104	94	104	136	194	281	398	
4	34	40	215	304	16.8	541	850	136	128	141	177	237	322	432	
5	45	20	265	292	17.5	552	850	186	179	193	230	289	370	471	
6	57	20	330	254	18.4	562	850	285	259	263	293	347	421	514	
7	66	20	473	420	20.3	576	1150	490	399	364	384	459	592	784	
8	74	20	594	356	21.7	593	1150	653	545	496	506	574	692	852	
9	82	30	720	266	23.7	610	1150	855	720	645	632	677	769	898	
10	93	20	835	219	24.9	632	1150	980	860	786	761	786	852	953	
11	101	20	967	214	26.3	673	1280	1104	989	915	890	915	988	1103	
12	111	0	1060	153	27.6	711	1280	1157	1076	1023	1005	1023	1076	1157	
13	119	10	1120	111	28.7	738	1280	1190	1132	1093	1079	1093	1131	1190	
14	130	10	1172	105	29.2	764	1320	1216	1173	1146	1139	1153	1190	1244	
15	140	20	1208	80	29.5	782	1320	1235	1206	1188	1184	1197	1225	1265	
16	152	10	1237	60	29.8	793	1320	1251	1232	1222	1221	1231	1252	1281	
17	161	20	1239	34	29.8	794	1280	1229	1230	1231	1234	1241	1251	1263	
18	171	20	1245	32	29.9	796	1280	1234	1235	1237	1242	1248	1256	1266	
19	179	50	1249	29	29.9	797	1280	1239	1240	1242	1247	1252	1260	1268	
20	188	20	1255	25	30.0	799	1280	1246	1247	1249	1253	1258	1264	1271	
21	199	20	1256	24	30.0	799	1280	1247	1248	1250	1254	1259	1264	1271	



Slika 4. Ohlajanje plošč.

Figure 4. Cooling of slabs.

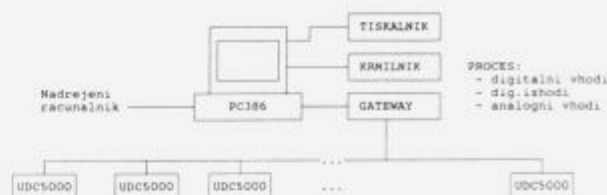
ogrevanje regulatorji Honeywell UDC 5000. Ti regulirajo delovanje plinskih gorilnikov v skladu z željeno vrednostjo in trenutno merjeno vrednostjo temperatur v peči. Željene vrednosti posameznih temperatur se nastavljajo ročno neposredno na regulatorjih. Nastavitve so odvisne od vrste jekla in trenutnega stanja na vseh transportnih linijah. Z uvedbo računalniškega nadzora potisne peči bo mogoče:

- spreminjati trenutne in nastavljene vrednosti posameznih veličin na grafičnem zaslonu in nadzirati tolerančne meje,
- arhivirati vse dogodke za kasnejše analize,
- kreirati željene temperaturne poteke za posamezne vrste jekel
- programsko nastavljati željene vrednosti na regulatorjih v odvisnosti od vrste jekla,
- optimalno voditi ogrevanje s pomočjo modela na osnovi prenosa toplote in bilance toplotnih tokov.

Uvedba nadzornega računalnika omogoča boljši pregled nad dogajanjem v peči, arhiviranje vseh podatkov, odpravo morebitnih napak operaterja in integriranje potisne peči v računalniški nadzor celotne valjarne in železarne.

5.1 Konfiguracija sistema

Za nadzor ogrevanja v potisni peči je predviden računalnik tipa PC/AT 386 v industrijski izvedbi. Na nadzorni računalnik je priključen preko serijskega kanala industrijski krmilnik npr. SIMATIC 115U, na katerega so priključeni vsi senzori, ki niso že priključeni na regulatorje. Krmilnik je opremljen z moduli za priključitev 24 analognih vhodov tipa 4...20 mA in 32 digitalnih vhodnih ter 32 digitalnih izhodnih signalov 24 VDC. Bločna shema povezav nadzornega računalnika je prikazana na sliki 5. Obstoječi regulatorji bodo z dodatkom komunikacijskih vmesnikov priključeni na napravo GATEWAY 500, ta pa na serijski port nadzornega računalnika. Ohrani se obstoječi način regulacije,



Slika 5. Koncept tehnične rešitve.

Figure 5. Concept of technical solution.

ki deluje tudi v primeru izpada računalnika. Računalnik direktno ne izvaja regulacije, temveč samo pošlje vsem regulatorjem željene vrednosti v skladu z določeno vrsto jekla, vstopno temperaturo plošč in zastoji na transportnih linijah. Matrični tiskalnik formata A4, ki je priključen na paralelni port računalnika služi za protokoliranje. Predvidena je tudi serijska povezava na nadrejeni računalnik. Na nadzornem računalniku teče programski paket FIX DMACS za spremljanje in nadzor procesa. Osnovna značilnost paketa je, da je odprt in omogoča istočasno delovanje dodatnih programov, ki rešujejo specifične probleme nadzora ogrevanja kot npr. nadzor temperature plošč in porabe toplote.

6 Sklep

Konceptualno je rešen problem nadzora ogrevanja in porabe energije v potisni peči ter postavljen koncept tehnične rešitve. Zato je bilo potrebno postaviti več algoritmov delnih procesov prenosa toplote v peči in urejanja podatkov. Za primer zalaganja plošč v vročem stanju je rešen problem določitve začetne temperature plošč.

7 Seznam simbolov

c_p	specifična toplota
λ	toplotna prevodnost
ϑ	povprečna temperatura plošč
$\Delta\vartheta$	največja temperaturna diferenca v plošči
ϑ_p	temperatura peči

8 Literatura

- ¹ Hollander, F. in R.L. Huisman. Computer Controlled Reheating Furnaces Optimize Hot Strip Mill Performance. Iron and Steel Engineer, sept. 1972, 43-56
- ² Koinis, F.J. in R.W. Meyer. Improved Thermal Efficiency in Reheat Furnaces through Heat Transfer Analysis and Correlation. Iron and Steel Engineer, Feb. 1982, 43-46
- ³ Kuck A., R. Klima in D. Sucker. Ein Programmsystem zur Prozesssteuerung von Durchlauf-Warmofen, Stahl u. Eisen, 102, 18, 1982, 867-872