

Dariusz WOŹNIAK, Bogdan GARBARZ

Instytut Metalurgii Żelaza im. St. Staszica

ZAŁOŻENIA TECHNOLOGICZNE I KONSTRUKCYJNE BUDOWY MODUŁU LPS DO PÓŁPRZEMYSŁOWEJ SYMULACJI WALCOWANIA NA GORĄCO I OBRÓBKI CIEPLNOPLASTYCZNEJ TAŚM CIENKICH I PRĘTÓW DROBNYCH

Na podstawie badań eksperymentalnych i analiz teoretycznych opracowano koncepcję, modułowej i etapowej rozbudowy linii LPS, charakterystyki urządzeń w zakresie głównych parametrów oraz szczegółowe założenia projektowe stanowiące podstawę do realizacji projektów wykonawczych. Rozbudowa obejmuje moduły C (taśmy) i D (pręty) do symulacji procesów walcowania na gorąco taśm cienkich oraz prętów drobnych, złożone z nawrotnego zespołu walcowniczego ciągłego oraz urządzeń pomocniczych i sterująco-rejestrujących. Na podstawie wyników prób walcowania prowadzonych w istniejącym module B do nawrotnego walcowania na gorąco dokonano uszczegółowienia założeń konstrukcyjnych dla modułów C i D. Opracowano program budowy modułów C i D w dwóch podetapach. Realizacja podetapu I umożliwi prowadzenie symulacji walcowania taśm i prętów w zakresie ograniczonym ze względu na mniejszą liczbę urządzeń dodatkowych. Zainstalowanie pozostałych urządzeń dodatkowych będzie zrealizowane w II podetapie budowy, po zakończeniu którego możliwe będzie prowadzenie symulacji w pełnym planowanym zakresie.

Słowa kluczowe: półprzemysłowa symulacja fizyczna, walcowanie na gorąco, obróbka cieplna, taśma, pręt

TECHNOLOGICAL AND CONSTRUCTIONAL FOREDESIGN OF LPS MODULE FOR SEMI-INDUSTRIAL SIMULATION OF HOT ROLLING AND THERMO-MECHANICAL TREATMENT OF STRIP AND BARS

Based on the experimental trials and theoretical analyses, a concept of modular and staged extension of the LPS line, characteristics of main parameters of devices and detailed data for realization of the construction project have been developed. The extension will comprise simulation of strip and bar hot rolling process by means of modules C (strip) and D (bars) built of reversing continuous rolling train as well as auxiliary devices and controlling-recording systems. Based on the results of rolling tests carried out in the existing module B, foredesign of modules C and D for reversing hot rolling was worked out. The construction programme of modules C and D was divided into two stages. Realization of stage I will enable limited simulation of strip and bar hot rolling process due to incomplete number of auxiliary devices. The installation of the remaining devices will be realized in stage II and its completion will enable carrying out the simulation in full planned scope.

Key words: semi-industrial physical simulation, hot rolling, heat treatment, strip, bar

1. WPROWADZENIE

Program rozwoju symulacji fizycznej nowoczesnych procesów wytwarzania półwyrobów i wyrobów z metali oraz stopów metali podjęto na podstawie wyników opracowanego studium przedrealizacyjnego linii do półprzemysłowej symulacji procesów wytwarzania stopów metali i wyrobów (LPS). W ramach wykonanych w Instytucie Metalurgii Żelaza prac [1–7] opracowano ogólną koncepcję LPS, modułowy i etapowy sposób budowy linii, charakterystyki urządzeń w zakresie głównych parametrów, oszacowano koszt budowy poszczególnych modułów oraz opracowano szczegółowe założenia projektowe stanowiące podstawę do realizacji projektów

wykonawczych modułów A (wytapianie i odlewanie) i B (nawrotne walcowanie na gorąco). Zakończono budowę i uruchomiono moduły A1 (piec próżniowy do wytapiania i odlewania) i B (zespół jednoklatkowy walcowniczy nawrotny wraz z urządzeniami do obróbki cieplnej). Do symulacji procesów walcowania na gorąco taśm cienkich oraz prętów i kształtowników drobnych zaplanowano budowę zespołu walcowniczego ciągłego, stanowiącego moduły C (taśmy) i D (pręty i kształtowniki). Aktualizację i korektę przyjętych założeń do budowy modułów C i D / LPS opracowanych w pracy [7], dokonano na podstawie wyników prób walcowania prowadzonych w istniejącym module B, które wykonywano w ramach zadań 23÷27 projektu N R07 0008 04 [8].

2. KONCEPCJA LPS I STAN OBECNY

Według przyjętej do realizacji koncepcji LPS składa się z modułów, co umożliwi jej etapową budowę [2], aż do osiągnięcia układu zawierającego wszystkie moduły pokazane na rysunku 1.

Moduł A: A1 – próżniowy piec indukcyjny VSG 100S firmy PVA Tepla z tyglami o pojemności 100 kg i 50 kg wraz z oprzyrządowaniem i urządzeniami do wytapiania i odlewania w próżni do wlewnic klasycznych i do krystalizatorów miedzianych chłodzonych wodą – oddany do eksploatacji w 2008 r.;

A2 – próżniowy piec indukcyjny z tyglami o pojemności 30 kg i 20 kg z możliwością pracy w próżni lub w atmosferach ochronnych (np. argon) oraz pracy jako piec otwarty (w atmosferze powietrza) wraz z oprzyrządowaniem i urządzeniami do wytapiania i odlewania w próżni do wlewnic klasycznych – w fazie realizacji;

A3 – laboratoryjne stanowisko do indukcyjnego wytapiania i odlewania stopów amorficznych o pojemności od 50 g do 3 kg, umożliwiające odlewanie pod ciśnieniem do wlewnic chłodzonych wodą i/lub ciekłym azotem – oddany do eksploatacji w 2010 r.;

Moduł B: zespół walcowniczy jednoklatkowy nawrotny duo/kwarto do walcowania na gorąco blach arkuszowych oraz prętów kwadratowych wraz z urządzeniami do nagrzewania i prowadzenia zaawansowanych procesów regulowanego walcowania i chłodzenia – oddany do eksploatacji w 2010 r.;

Moduł C: zespół walcowniczy ciągły duo do walcowania na gorąco taśm wraz z oprzyrządowaniem umożliwiającym regulowane walcowanie i chłodzenie – w fazie planowania;

Moduł D: zespół walcowniczy ciągły duo/universalne do walcowania na gorąco prętów i kształtowników wraz z oprzyrządowaniem umożliwiającym regulowane walcowanie i chłodzenie – w fazie planowania;

Moduł E: zespół walcowniczy jednoklatkowy nawrotny kwarto/duo do walcowania na zimno i piec do obróbki cieplnej wraz z urządzeniem do wytwarzania atmosfery ochronnej – wstępna koncepcja;

Moduł F: zespół dwóch ciągarek złożony z ciągarki ławowej łańcuchowej do ciągnięcia prętów i kształtowników i ciągarki bębnowej do ciągnięcia drutu wraz z urządzeniem pomocniczymi – planowana modernizacja;

W ramach realizowanego I etapu budowy LPS oddano do eksploatacji moduł A1 umożliwiający półprzemysłową symulację procesów wytapiania, rafinacji i krzepnięcia ciekłego metalu oraz moduł B przeznaczony do półprzemysłowej symulacji regulowanego walcowania na gorąco blach arkuszowych i prętów kwadratowych oraz do regulowanego chłodzenia podczas walcowania i po walcowaniu.

W II etapie budowy planowane jest przedłużenie LPS o urządzenia umożliwiające symulację procesów regulowanego walcowania na gorąco i regulowanego chłodzenia po walcowaniu blach taśmowych (moduł C) oraz prętów i kształtowników (moduł D). Realizację budowy

modułów C i D zaproponowano w dwóch podetapach, co umożliwi rozłożenie kosztów inwestycyjnych i procedury uruchamiania na dłuższy okres. Realizacja podetapu I umożliwi prowadzenie procesów walcowania taśm i prętów w zakresie ograniczonym do 4 przepustów ze względu na mniejszą liczbę urządzeń dodatkowych, tj. bez drugiej chłodni natryskowo-nadmuchowej oraz bez zwijarko-rozwijarki z piecem służącej do podtrzymywania temperatury. Zakup i zainstalowanie pozostałych urządzeń dodatkowych zostanie zrealizowany w II podetapie budowy modułów C i D. Po zakończeniu II podetapu będzie możliwe prowadzenie procesów walcowania taśm i prętów w pełnym planowanym zakresie obejmującym 8 przepustów.

III etap obejmie instalację urządzeń do walcowania na zimno i wygładzania blach taśmowych oraz do obróbki cieplnej (moduł E).

3. PÓLPRZEMYSŁOWA SYMULACJA WALCOWANIA NA GORĄCO TAŚM I PRĘTÓW W LPS – MODUŁY C I D

3.1. PODETAP I BUDOWY MODUŁÓW C I D

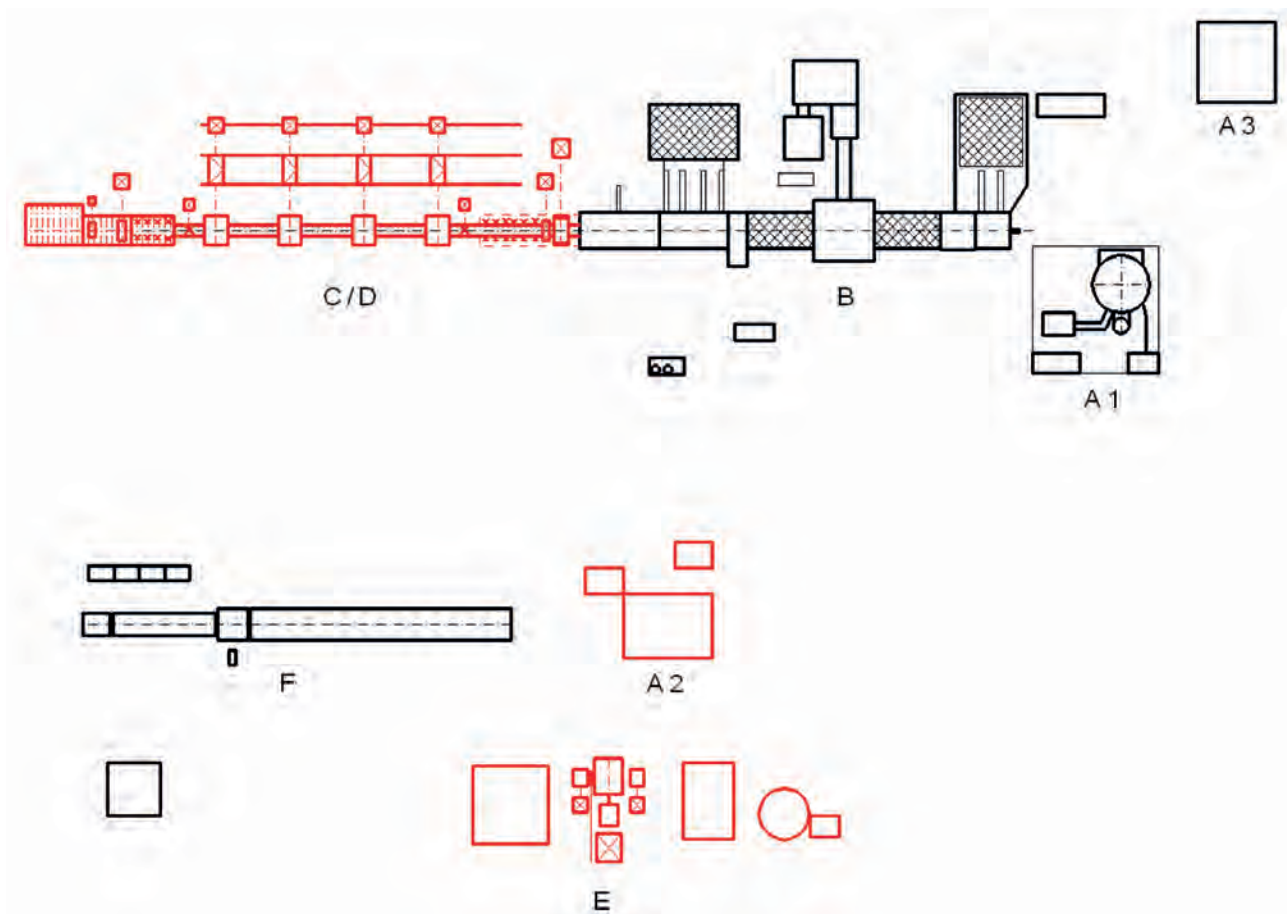
Konfiguracja zespołu walcowniczego do walcowania na gorąco taśm i prętów stanowiącego moduły C i D przewidywanych do zainstalowania w I podetapie budowy pokazano na rysunku 2. W pierwszym podetapie budowy modułów C i D linii do półprzemysłowej symulacji wytwarzania wyrobów z metali i stopów zostaną zainstalowane urządzenia umożliwiające symulację procesów:

- walcowania wykańczającego taśm na gorąco w maksymalnie 4 przepustach (moduł C),
- walcowania prętów i kształtowników drobnych w maksymalnie 4 przepustach (moduł D).

W skład modułów C i D w I podetapie wchodzi następujące podstawowe urządzenia technologiczne:

- dwa zestawy rolek ciągnąco-hamujących umożliwiających zmniejszanie i zwiększanie prędkości pasma przed i za układem walcowniczym,
- nożyca do obcinania końców pasm,
- zespół walcowniczy ciągły nawrotny złożony z czterech walcarek z możliwością swobodnego przesuwania poszczególnych klatek lub całego zespołu w linii walcowania w kierunkach zgodnym i przeciwnym do kierunku walcowania, wyposażony w klatki walcownicze typu duo wstępnie sprężone D380 i L350 o maksymalnej sile nacisku na walce 5 MN z możliwością wymiany za pomocą suwnicy na klatki walcownicze typu duo / uniwersalne D350 o maksymalnej sile nacisku na walce 2 MN,
- chłodnia natryskowo-nadmuchowa do przyśpieszonego chłodzenia pasma umożliwiająca chłodzenie natryskiem wodnym, mieszaniną wodno-powietrzną lub powietrzem pasma w czasie walcowania w zakresie od 1100°C do 20°C z regulowaną szybkością chłodzenia,
- zwijarka do zwijania walcowanej taśmy,
- chłodnia rusztowa.

Sterowanie zespołem walcowniczym powinno przebiegać automatycznie w zakresie nastawiania parametrów technologicznych walcowania oraz regulowanego chłodzenia w czasie i po walcowaniu. Sterowanie ma obejmować następujące parametry:



- A1 – próżniowy piec indukcyjny VSG 100S do wytapiania i odlewania z tyglami o pojemności 100 kg i 50 kg
 A2 – próżniowy piec indukcyjny do wytapiania i odlewania z tyglami o pojemności 30 kg i 20 kg
 A3 – laboratoryjne stanowisko do indukcyjnego wytapiania i odlewania stopów amorficznych
 B – zespół walcowniczy jednoklatkowy nawrotny duo/kwarto do walcowania na gorąco blach arkuszowych oraz prętów kwadratowych
 C – zespół walcowniczy ciągły do walcowania na gorąco taśm
 D – zespół walcowniczy ciągły duo/universalne do walcowania na gorąco prętów i kształtowników
 E – zespół walcowniczy jednoklatkowy nawrotny kwarto/duo do walcowania na zimno taśm
 F – zespół dwóch ciągarek złożony z ciągarki ławowej do ciągnięcia prętów i kształtowników oraz ciągarki bębnowej do ciągnięcia drutu

Rys. 1. Schemat docelowego układu urządzeń w linii do półprzemysłowej symulacji (LPS) w Instytucie Metalurgii Żelaza
 Fig. 1. Final lay-out of semi-industrial simulation line (LPS) at the Institute for Ferrous Metallurgy

- odstęp walców roboczych (wielkość gniotu),
- prędkość walcowania,
- temperaturę w piecu zwijarkowym,
- prędkość zwijania i rozwijania pasma pośredniego,
- ciśnienie i natężenia przepływu mediów w chłodni natryskowo-nadmuchowej,
- konfigurację i liczbę włączonych dysz,
- położenie dysz.

Podczas procesu walcowania na gorąco wymagany jest ciągły pomiar następujących wielkości:

- siły nacisku walców pod każdą śrubą nastawczą i całkowita siła nacisku,
- momentu skręcającego na każdym łączniku i całkowitego momentu skręcającego,
- mocy napędu walców,
- prędkości twornika silnika walcowniczego,
- napięcie zasilania wirnika,
- prądu silnika napędu głównego,
- odstęp walców (nastawy walców),
- temperatury walcowanego pasma przed i za każdą klatką walcowniczą,

- temperatury chłodzonego pasma w rejonie urządzeń do regulowanego chłodzenia,
- prędkości walcowanego pasma (bezdotykowo),
- wymiarów walcowanego pasma (bezdotykowo).

Pomiar temperatury w wyznaczonych miejscach będzie wykonywany automatycznie i rejestrowany, a wyniki pomiarów dostępne w czasie rzeczywistym w systemie i w oknie pulpitu operatora.

Do zdalnego śledzenia procesu walcowania przed i za zespołem walcowniczym ciągłym będą zainstalowane kamery cyfrowe z możliwością regulowania ich położenia (w pionie, w poziomie i wokół osi), przekazujące obrazy w czasie rzeczywistym na ekran monitora umieszczonego na pulpicie sterowniczym walcarki i umożliwiające zapisywanie obrazów na twardym dysku komputera systemu pomiarowego.

3.2. PODETAP II BUDOWY MODUŁÓW C I D

W drugim podetapie budowy modułów C i D linii do półprzemysłowej symulacji wytwarzania wyrobów

z metali i stopów zostaną zainstalowane urządzenia umożliwiające symulację procesów:

- walcowania wykańczającego taśm na gorąco w maksymalnie 8 przepustach (moduł C),
- walcowania prętów i kształtowników drobnych w 8 przepustach (moduł D).

Schemat lokalizacji urządzeń LPS przewidywanych do zainstalowania w II podetapie budowy modułów C i D zamieszczono na rysunku 3. W skład modułów C i D w II podetapie wchodzi następujące podstawowe urządzenia technologiczne:

- nożyca do obcinania końców pasm,
- zwijarko-rozwijarka z piecem elektrycznym rezystancyjnym do podtrzymywania temperatury w komorze pieca w zakresie od 900°C do 1250°C,
- zwijarka do zwijania walcowanej taśmy – przewidziana w I podetapie budowy modułów C i D zwijarka usytuowana w linii walcowania za chłodnią natryskowo-nadmuchową znajdującą się za klatką 4. zespołu ciągłego będzie w drugim podetapie budowy przebudowana i przemieszczona za chłodnię natryskowo-nadmuchową, usytuowaną przed pierwszą klatką walcowniczą.

3.3. ZAKRES I MOŻLIWOŚCI SYMULACJI PÓLPRZEMYSŁOWEJ Z ZASTOSOWANIEM MODUŁÓW C I D

Symulacja procesów walcowania na gorąco taśm i prętów będzie obejmowała technologie walcowania w zakresie wysokotemperaturowym, niskotemperaturowym z obróbką cieploplastyczną oraz regulowanego chłodzenia po walcowaniu (w swobodnym powietrzu, przyspieszonego strumieniem powietrza, mieszaniną wody i powietrza lub natryskiem wodą).

Zaplanowane parametry symulacji wykańczającego walcowania na gorąco taśm obejmują:

- wsad do walcowania w zespole ciągłym:
 - pasma płaskie o grubości 5÷25 mm i szerokości do 250 mm pochodzące z modułu B.
- rodzaje symulowanych procesów:
 - walcownie taśm na gorąco
 - regulowane chłodzenie po walcowaniu
- wyrób gotowy:
 - taśmy walcowane na gorąco o grubości 0,8÷4 mm i szerokości do 250 mm.

Tablica 1. Porównanie wartości parametrów symulacji możliwych do uzyskania w modułach C i D LPS – z wartościami parametrów stosowanych w procesach przemysłowych walcowania na gorąco taśm

Table 1. Comparison of values of simulation parameters possible to obtain in modules C and D of the LPS with values of parameters used in industrial processes of strip hot rolling

Parametr	Jednostka	Technologia przemysłowa	LPS
Grupa wstępna			
Prędkość walcowania, v_w	m/s	maks. 5,0	maks. 1,5
Średnica walców, D_{rob}	mm	maks. 1200	maks. 550
Grubość końcowa, h_n	mm	min. 20	min. 3
Odkształcenie, φ	–	maks. 0,6	maks. 0,6
Prędkość odkształcenia, $\dot{\varphi}$	s ⁻¹	maks. 15	maks. 15
Grupa wykańczająca			
Prędkość walcowania, v_w	m/s	maks. 22	maks. 12
Średnica walców, D_{rob}	mm	maks. 730	maks. 370
Grubość końcowa, h_n	mm	min. 1,0	min. 0,8
Odkształcenie, φ	–	maks. 0,6	maks. 0,6
Prędkość odkształcenia, $\dot{\varphi}$	s ⁻¹	maks. 400	maks. 200

Tablica 2. Porównanie wartości parametrów symulacji możliwych do uzyskania w modułach C i D LPS z wartościami parametrów stosowanych w procesach przemysłowych walcowania prętów

Table 2. Comparison of values of simulation parameters possible to obtain in modules C and D of the LPS with values of parameters used in industrial processes of bar rolling

Parametr	Jednostka	Technologia przemysłowa	LPS
Prędkość walcowania, v_w	m/s	maks. 20	maks. 15
Średnica walców, D_{rob}	mm	min. 270	min. 250
Odkształcenie, φ	–	maks. 0,3	maks. 0,3
Prędkość odkształcenia, $\dot{\varphi}$	s ⁻¹	maks. 200	maks. 100

Symulowane procesy lub operacje technologiczne dla stali:

- walcowanie klasyczne (wysokotemperaturowe):
 - zakres temperatury: 1250÷950°C
 - gniot w przepuście: maks. 40%
- walcowanie regulowane (niskotemperaturowe z obróbką cieploplastyczną):
 - zakres temperatury: 950÷650°C
 - gniot w przepuście: maks. 30%
 - chłodzenie w swobodnym powietrzu
 - przyspieszone chłodzenie strumieniem powietrza
 - przyspieszone chłodzenie natryskiem wodnym
- regulowane chłodzenie po walcowaniu:
 - chłodzenie w swobodnym powietrzu
 - przyspieszone chłodzenie strumieniem powietrza
 - przyspieszone chłodzenie natryskiem wodnym
 - przyspieszone chłodzenie mieszaniną wody i powietrza.

Zaplanowane parametry symulacji walcowania prętów i kształtowników są następujące:

- wsad do walcowania zespołem ciągłym:
 - pasma kwadratowe o wymiarach $\square 25 \div 45$ i długości min. 1500 mm
 - pasma kształtowe o powierzchni przekroju poprzecznego nie większej od 2000 mm²
- wyrobem gotowym będą pręty i kształtowniki drobne o powierzchni przekroju poprzecznego wyrobu gotowego od 50 do 1000 mm².

Symulowane procesy lub operacje technologiczne dla stali:

- walcowanie w zakresie wysokotemperaturowym,
- regulowane chłodzenie po walcowaniu:
 - w swobodnym powietrzu,
 - przyspieszone chłodzenie strumieniem powietrza
 - przyspieszone chłodzenie natryskiem wodą
 - przyspieszone chłodzenie mieszaniną wody i powietrza.

Porównanie wartości parametrów symulacji z wartościami parametrów stosowanych w procesach przemysłowych zestawiono w tablicach 1 i 2.

Tablica 3. Możliwości symulacji w modułach C i D LPS technologii stosowanych w procesach przemysłowych

Table 3. Possibilities of simulation of technologies used in industrial processes in modules C and D of the LPS

Technologia przemysłowa	Możliwość symulacji w LPS – moduł B
<i>Taśmy walcowane na gorąco</i>	
walcownie klasyczne	tak
walcownie klasyczne z regulowanym chłodzeniem po walcowaniu (sterowanie temperaturą bezpośrednio po wyjściu pasma z walców)	tak
walcownie regulowane (sterowanie w czasie walcowania temperaturą lub temperaturą i gniotem)	tak
walcownie regulowane z regulowanym chłodzeniem po walcowaniu	tak
<i>Pręty</i>	
walcownie klasyczne	tak
walcownie klasyczne z regulowanym chłodzeniem po walcowaniu (sterowanie temperaturą bezpośrednio po wyjściu pasma z walców)	tak

Porównanie stosowanych w walcowniach przemysłowych parametrów procesu walcowania (tabl. 1 i 2) i technologii walcowania (tabl. 3) z możliwościami prowadzenia symulacji w modułach C i D wskazuje, że opracowane koncepcja i założenia techniczne oraz technologiczne linii w pełni odzwierciedlają jej półprzemysłowy charakter, a skala modelowania dla większości parametrów może być równa 1. Największa różnica występuje w prędkości odkształcenia, która w przypadku przemysłowych walcowni małych i walcowni gorących blach taśmowych jest dwukrotnie większe niż planowana do osiągnięcia w LPS. Różnica ta wynika bezpośrednio z maksymalnej możliwej do uzyskania w planowanych modułach C i D prędkości walcowania, która jest niższa niż w walcowniach przemysłowych.

4. PODSUMOWANE

Rozbudowa LPS o nowe moduły C i D w istotny sposób zwiększy możliwości i kompleksowość badań eksperymentalnych w skali półprzemysłowej, prowadzonych w IMŻ. Zmodyfikowana konfiguracja zespołu walcowniczego nawrotnego ciągłego obejmującego moduły C i D LPS, umożliwi jego etapową budowę i jednocześnie współpracę z zespołem wstępnym (moduł B). Moduły C i D są przeznaczone do walcowania na gorąco taśm, prętów i kształtowników. W artykule przedstawiono opracowane założenia obejmujące:

- zakres symulacji procesów przemysłowych możliwych do realizacji w nowym zespole ciągłym,
- wymagania i podstawowe charakterystyki techniczne oraz technologiczne urządzeń,
- etapowy sposób budowy modułów C i D wraz z rozmieszczeniem urządzeń,
- wymagania odnośnie do systemów sterowania, pomiarów i rejestracji parametrów procesu walcowania.

Przyjęte na podstawie badań wykonanych z zastosowaniem modułu B założenia do budowy nowego zespołu walcowniczego stanowiącego moduły C i D wskazują, że możliwa będzie symulacja półprzemysłowa wszystkich zaawansowanych procesów walcowania obejmujących technologie walcowania z obróbką cieploplastyczną oraz walcowania regulowanego taśm, prętów i kształtowników. Walcowanie będzie mogło być prowadzone w sposób ciągły, posobny i nawrotny, a w przypadku prętów i kształtowników w złożeniach typu duo i uniwersalnych.

Możliwe do zastosowania w planowanych modułach C i D symulacje technologii walcowania na gorąco taśm i prętów odzwierciedlają technologie stosowane w nowoczesnych walcowniach przemysłowych. Porównanie wartości parametrów procesu walcowania stosowanych w walcowniach przemysłowych z wartościami parametrów procesu walcowania możliwymi do osiągnięcia podczas prowadzenia symulacji w modułach C i D wskazuje, że skala modelowania dla większości parametrów może być równa 1, a opracowana koncepcja i założenia techniczne oraz technologiczne linii w pełni odzwierciedlają jej półprzemysłowy charakter. Wyższe prędkości odkształcenia osiągane w przemysłowych walcowniach małych i walcowniach gorących blach taśmowych, niż planowane do uzyskania w LPS są następstwem niższej prędkości walcowania możliwej do bezpiecznego stosowania w planowanych modułach C i D LPS.

Publikacja została opracowana na podstawie pracy wykonanej w projekcie badawczym rozwojowym nr N R07 0008 04 pt. „Opracowanie podstaw przemysłowych technologii kształtowania struktury i właściwości wyrobów z metali i stopów z wykorzystaniem symulacji fizycznej i numerycznej”

finansowanym przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju, realizowanym przez Instytut Metalurgii Żelaza im. Stanisława Staszica w Gliwicach (koordynator), Akademię Górniczo-Hutniczą, Politechnikę Częstochowską, Politechnikę Śląską i Politechnikę Warszawską.

LITERATURA

1. Praca zbiorowa (kierownik pracy D. Woźniak): Opracowanie wstępnej koncepcji rozwoju półprzemysłowej symulacji procesów wytwarzania półwyrobów i wyrobów stalowych. Sprawozdanie nr S-0514 (niepublikowane). Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, 2004.
2. Praca zbiorowa (kierownik pracy D. Woźniak): Koncepcja etapowej budowy linii do półprzemysłowej symulacji (LPS) procesów wytwarzania wyrobów z metali i stopów. Sprawozdanie nr S0-0532 (niepublikowane). Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, 2005.
3. Bulkowski L., Pogorzałek J., Kozik Cz.: Analizy i wspomagające badania związane z budową modułu stalowniczego linii do półprzemysłowej symulacji procesów wytwarzania wyrobów z metali i stopów. Sprawozdanie IMŻ nr S0-0533 (niepublikowane). Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, 2005.
4. Praca zbiorowa (kierownik pracy D. Woźniak): Opracowanie założeń projektowych do I etapu budowy linii do półprzemysłowej symulacji procesów wytwarzania wyrobów z metali i stopów oraz przygotowanie przetargów na zakup urządzeń. Sprawozdanie nr S0-0556 (niepublikowane). Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, 2005.
5. Praca zbiorowa (kierownik pracy D. Woźniak): Opracowanie założeń do półprzemysłowej symulacji technologii walcowania cieplnoplastycznego w walcierce jednoklatkowej oraz kordynacja prac technicznych związanych z LPS. Sprawozdanie IMŻ nr S0-0567 (niepublikowane). Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, 2006.
6. Pogorzałek J., Bulkowski L.: Rozszerzenie możliwości badawczych linii LPS poprzez modernizację pieca VSG50. Etap I - prace projektowe. Sprawozdanie IMŻ nr S0-0631 (niepublikowane). Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, 2007.
7. Woźniak D.: Opracowanie koncepcji i założeń projektowych czterowalcowej walcarki uniwersalnej z synchronizowanym nastawianiem walców. Sprawozdanie IMŻ nr S0-0668 (niepublikowane). Instytut Metalurgii Żelaza, Gliwice, 2008.
8. Garbarz B.: Planowane cele i osiągnięte wyniki projektu: „Opracowanie podstaw przemysłowych technologii kształtowania struktury i właściwości wyrobów z metali i stopów z wykorzystaniem symulacji fizycznej i numerycznej”. Prace IMŻ, t.64, nr 1, s. 5-16