

Wysokotemperaturowa stal stopowa wykorzystywana w pojazdach kolejowych

Streszczenie

W artykule omówiony został problem możliwości wykorzystania nowoczesnych stali wysokotemperaturowych dla pojazdów wykorzystywanych w transporcie kolejowym. Rozwój przemysłu kolejowego determinuje poszukiwanie nowych materiałów konstrukcyjnych do produkcji elementów konstrukcyjnych o wysokiej wytrzymałości i podatności na kształtowanie technologiczne, umożliwiającących zmniejszenie masy pojazdu i racjonalne zużycie energii wraz z uwzględnieniem procesu recyklingu wykorzystywanych materiałów. Wykorzystując omówione w artykule materiały możliwe będzie uzyskanie wskaźnika odzysku taboru szynowego może wynieść nawet 95%, podobnie jak w przypadku pojazdów samochodowych. Obecnie na nadwozia pojazdów szynowych powszechnie stosowane są różne gatunki stali głęboko tłoczonych oraz stale wysokowytrzymałe typu HSLA. Zastąpienie stali miękkich stalami o wyższej wytrzymałości umożliwi stosowanie mniejszych grubości blach stalowych, co w efekcie przyczyni się do redukcji redukcja masy wynikająca ze stosowania cieńszych blach stalowych, co wpłynie bezpośrednio na zmniejszenie energochłonności tych pojazdów.

WSTĘP

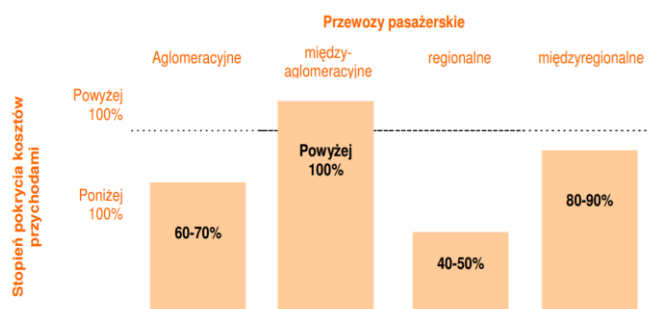
Transport kolejowy, podobnie jak każda gałąź transportu, odznacza się określonymi cechami, które stanowią o jego specyfice. Z uwagi na charakter oddziaływania na funkcjonowanie i rozwój tej gałęzi transportu, poszczególne jego cechy podzielić można na elementy stymulujące oraz destymulujące. Wśród właściwości pozytywnie oddziałujących, do kluczowych zaliczyć można:

- zdolność do jednorazowego przewozu znacznej masy ładunku (zarówno w odniesieniu do wagi pojedynczego ładunku, jak również łącznej masy przewożonej jednocześnie przez cały skład);
- zdolność do jednorazowego przewozu dużej ilości pasażerów (w pociągach dalekobieżnych – w zależności od klasy przedziału – od 54 do 72 miejsc siedzących w jednym wagonie, w pociągach regionalnych do ok. 280 miejsc w wieloczołowym zespołach trakcyjnym lub więcej w tzw. trakcji zwielokrotnionej);
- zdolność do przewozu ładunków i pasażerów na długich trasach;
- ograniczony negatywny wpływ na środowisko naturalne, zarówno w aspekcie poboru energii, jak również emisji szkodliwych substancji do ekosystemu [1].

W Polsce przewozy kolejowe możemy podzielić na cztery podstawowe podsystemy, to jest: przewozy międzyaglomeracyjne, międzyregionalne, regionalne i aglomeracyjne. Zakłada się, że celem zastosowania nowoczesnych technologii w transporcie kolejowym będzie powstrzymanie dotychczasowych tendencji spadku udziału kolei w podziale pracy na rynku przewozowym, a następnie doprowadzenie do sytuacji zbieżnej z zasadami zrównoważonego rozwoju, czyli zapewnienie możliwie maksymalnego wykorzystania kolei w tych rodzajach przewozów, do których jest najlepiej predestynowana.

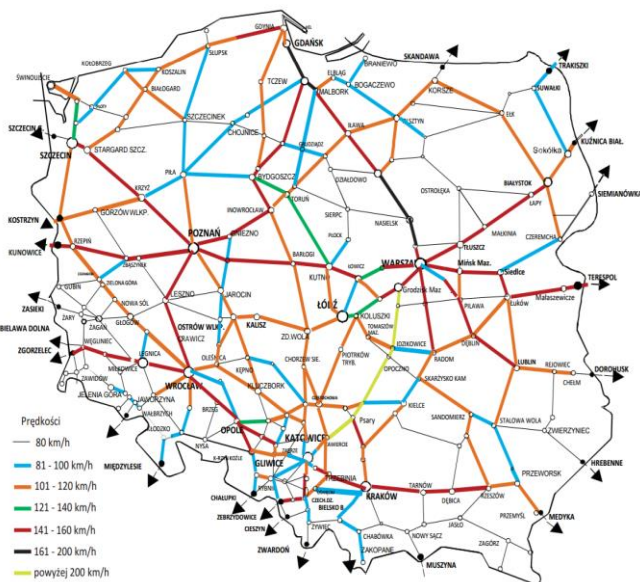
Powstawanie w ostatnich latach kolejowych spółek samorządowych oraz zwłaszcza pojawiające się zainteresowanie firm prywatnych świadczeniem usług transportowych w zakresie kolejowych pasażerskich przewozów regionalnych stanowią sygnał, że działalność ta może być atrakcyjna z biznesowego punktu widzenia i że może się rozwinąć, pod warunkiem stabilnego długoterminowego finansowania deficytu generowanego przez te przewozy (rys.1). Szanse rozwoju istnieją przede wszystkim w przypadku przewozów

aglomeracyjnych, w wyniku wykorzystania przewagi konkurencyjnej kolei wobec innych środków transportu.



Rys. 1. Matryca pokrycia kosztów przychodami w poszczególnych segmentach rynku przewozów pasażerskich

W przeprowadzonej przez autorów analizie obecnego stanu transportu kolejowego w Polsce i analizie SWOT stwierdzono, że najważniejszym czynnikiem hamującym rozwój jest degradacja infrastruktury. Przejawami tej degradacji są małe prędkości maksymalne na znacznej części sieci kolejowej. Prędkości te są w wielu przypadkach znacznie mniejsze od prędkości konstrukcyjnych, jakie niegdyś obowiązywały na poszczególnych odcinkach. Po-nadto występuje bardzo duża liczba ograniczeń prędkości. Zarówno zmniejszone prędkości maksymalne, jak i ograniczenia, powodują, że czasy przejazdu w szeregu relacji są obecnie znacząco wydłużone w stosunku do najkrótszych czasów osiągniętych na poszczególnych odcinkach w przeszłości. Działania przyszłościowe mają doprowadzić między innymi do zasadniczej poprawy stanu infrastruktury, a w konsekwencji – do poprawy pozycji konkurencyjnej transportu kolejowego poprzez zwiększenie prędkości przewożonych (rys. 2) oraz wykorzystanie nowoczesnej stali jako podstawowego budulca pojazdów kolejowych. Dzięki temu zostaną stworzone podstawy do tworzenia nowej jakości usług przewozowych w zakresie przewozów pasażerów i ładunków.



Rys. 2. Sieć rozwoju polskich szlaków kolejowych w aspekcie dopuszczalnych prędkości [3]

2. ANALIZA WYTRZYMAŁOŚCI I PLASTYCZNOŚCI BLACH

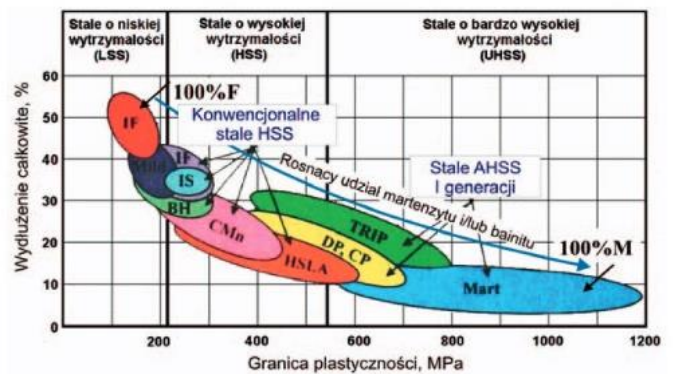
Potrzeby nowoczesnego przemysłu determinują poszukiwanie nowych materiałów konstrukcyjnych do produkcji blach o wysokiej wytrzymałości i podatności na kształtowanie technologiczne, umożliwiającym zmniejszenie masy pojazdu i racjonalne zużycie energii. Rosnące zainteresowanie wzbudzają stopy o małej gęstości na osnowie Al i Mg oraz kompozytowe tworzywa polimerowe. Względny ekonomiczny, efektywność recyklingu oraz możliwość uzyskania szerokiego zakresu własności mechanicznych i technologicznych decydują jednak, że nadal ponad 65% masy pojazdu to elementy kształtowane z blach stalowych.

W ostatniej dekadzie dokonał się znaczący postęp w opracowaniu i wytwarzaniu nowoczesnych gatunków stali stosowanych w transporcie na różnorodne elementy nadwozia i podwozia pojazdów szynowych. Obserwuje się dynamiczny wzrost udziału stali wysokowytrzymałych, umożliwiających redukcję grubości stosowanych blach stalowych, a tym samym zmniejszenie zużycia energii. Nowoczesne stale cechują się wielofazową mikrostrukturą, która zapewnia korzystny balans między własnościami wytrzymałościowymi i plastycznymi, a blachy stalowe wykazują dobrą podatność na kształtowanie technologiczne. W dalszej części opracowania przeanalizowano zasady projektowania składu chemicznego i mikrostruktury stali wielofazowych w kontekście uzyskania wymaganych własności mechanicznych i technologicznych, a także finalnego zastosowania blach stalowych na odpowiedzialne elementy struktury nośnej wózków tramwajowych.

Obecnie na nadwozia pojazdów szynowych powszechnie stosowane są różne gatunki stali głęboko tłocznych oraz stale wysokowytrzymałe typu HSLA. Zastąpienie stali miękkich stalami o wyższej wytrzymałości umożliwia stosowanie mniejszych grubości blach stalowych. W rzeczywistości masa wagonów utrzymuje się na stałym poziomie, gdyż redukcja masy wynikająca ze stosowania cieńszych blach stalowych o wysokiej wytrzymałości bilansowana jest dodatkowym wyposażeniem, montowanym w celu poprawy bezpieczeństwa, komfortu itd. Charakterystyczną cechą stali konwencjonalnych jest malejąca plastyczność blach wraz ze wzrostem wytrzymałości (rys. 3). Wzrost własności wytrzymałościowych jest relatywnie łatwy do uzyskania na wiele sposobów: wzrost zawartości C, wzrost hartowności przez wprowadzenie pierwiastków stopo-

wych, umocnienie rozтворowe, umocnienie wydzieleniowe, umocnienie odkształceniowe. Zasadniczym problemem jest natomiast zapewnienie wzrostu wytrzymałości blach stalowych bez znacznego pogorszenia plastyczności. Wymagania te spełniają nowoczesne gatunki stali wysokowytrzymałych o mikrostrukturze wielofazowej typu DP, TRIP i CP (rys. 3). Wydatny wkład w rozwój nowoczesnych blach stalowych dla przemysłu wniosły projekty międzynarodowe z udziałem licznych firm przemysłu stalowniczego. Optymalizacja masy nadwozia i podwozia stała się możliwa dzięki kompleksowemu zastosowaniu stali o korzystnym połączeniu wytrzymałości i odkształcalności technologicznej, nowoczesnym metodom kształtowania elementów, a także innowacyjnym technologiom łączenia poszczególnych zespołów karoserii.

Odpowiedzią projektantów materiałowych na zapotrzebowanie przemysłu było opracowanie nowych grup stali o szerokim wachlarzu własności wytrzymałościowych i plastycznych (rys. 2.1). Zgodnie z nomenklaturą stale te podzielono na trzy grupy: LSS (Low Strength Steels) – stale o niskiej wytrzymałości, HSS (High Strength Steels) – stale o granicy plastyczności pomiędzy 210 i 550 MPa i wytrzymałości na rozciąganie pomiędzy 270 i 700 MPa, oraz UHSS (Ultra High Strength Steels) – stale o bardzo wysokiej wytrzymałości [4].



Rys. 3. Porównanie własności mechanicznych stali konwencjonalnych o wysokiej wytrzymałości (HSS) i nowoczesnych wysokowytrzymałych stali wielofazowych I generacji (AHSS) stosowanych w transporcie

Wraz ze wzrostem udziału twardego składnika strukturalnego, tj. perlitu, bainitu, martenzytu, własności wytrzymałościowe rosną, a maleją własności plastyczne (rys. 2.1). Nieco wyższą plastyczność niż wynikającą z parabolicznej linii trendu wykazują stale typu DP, CP i TRIP, należące do grupy stali AHSS (Advanced High Strength Steels) I generacji. Stale AHSS definiowane są jako stale wielofazowe o wytrzymałości na rozciąganie R_m większej od 500 MPa i zawierają różny udział ferrytu, bainitu, martenzytu i austenitu szcążkowego. Oznacza się je jako XX aaa/bbb, co oznacza typ stali oraz minimalne wartości R_e i R_m . Przykładowo DP 350/600 oznacza stal dwufazową typu Dual Phase o minimalnej granicy plastyczności 350 MPa i wytrzymałości na rozciąganie 600 MPa. Oddziaływanie pomiędzy składnikami strukturalnymi o różnych własnościach jest powodem silnej podatności tych stali na umocnienie odkształceniowe, co wyróżnia grupę stali AHSS od konwencjonalnych stali HSS. Poniżej stale te zostaną opisane skrótowo, a szczegółowa analiza będzie dotyczyć nowoczesnych gatunków wysokowytrzymałych stali wielofazowych AHSS.

Konwencjonalne stale głęboko tłoczne Stale typu mild do niedawna były to najczęściej stosowane w motoryzacji stale głęboko tłoczne na różnego typu elementy zamykające nadwozie. W zależności od zawartości węgla (0,02-0,12%) mają one różną klasę tłoczności. Oprócz zanieczyszczeń S i P zawierają jedynie węgiel

oraz od 0,25 do 0,6% Mn. Najczęściej wytwarzane są jako walcowane na zimno i wyżarzane w piecach kołpakowych lub w linii ciągłej. Uzyskiwany zakres wytrzymałości na rozciąganie wynosi od 270 do 400 MPa, a wydłużenie całkowite – od 40 do 28%. Głównymi parametrami charakteryzującymi podatność blach stalowych na tłoczenie są współczynnik anizotropii normalnej r oraz wykładnik umocnienia odkształceniowego n [7, 8].

Stale typu IF (Interstitial Free) Stale te zawierają znikome stężenie pierwiastków międzywęzłowych C i N (~0,003%), krzemu i około 0,02% Nb i/lub 0,02% Ti, które całkowicie wiążą N i C w stabilne węglikoazotki. Z analizy rys. 2.1 wynika, że wykazują one najwyższą plastyczność spośród wszystkich stali i szczególnie dużą podatność na głębokie tłoczenie. Ultra niska zawartość węgla i azotu uzyskiwana jest dzięki odgazowaniu próżniowemu. Właściwości mechaniczne blach głęboko tłoczonych ze stali IF charakteryzują umowna granica plastyczności $R_{p0,2}$ od 140 do 220 MPa, wytrzymałość na rozciąganie R_m od 230 do 300 MPa, wydłużenie A od 37 do 50% oraz współczynnik anizotropii normalnej r do 2,4.

Analiza konwencjonalnych stali wysokowytrzymałych

Stale typu HS-IF (High Strength Interstitial Free) Są to stale typu IF dodatkowo umacniane roztworowo przez podwyższone stężenie P (do 0,03%), B (do 0,003%) oraz Mn (do 1,2%). Ich wytrzymałość na rozciąganie może dochodzić do 390 MPa. Stale typu BH (Bake Hardenable) są stalami bezkrzemowymi, zawierającymi poniżej 0,03% C, 0,1-0,5% Mn i do 0,02% Nb, często z podwyższonym do 0,03% stężeniem P, powodującym zwiększenie wytrzymałości oraz współczynnika anizotropii normalnej blach. Oprócz umocnienia podczas odkształcenia plastycznego na zimno elementy konstrukcyjne pojazdów wykonywane z blach BH (np. drzwi, pokrywa bagażnika) umacniają się również podczas wypalania lakieru, zachodzącego zwykle w temperaturze 170°C przez 20 min, zwiększając w ten sposób granicę plastyczności i wytrzymałość o około 20-40 MPa. Istotą tego umocnienia jest wzrost gęstości dyslokacji po procesie głębokiego tłoczenia oraz segregacja atomów węgla na dyslokacjach w procesie wypalania lakieru. Blachy ze stali BH charakteryzują granicę plastyczności $R_{p0,2}$ od 180 do 240 MPa, wytrzymałość na rozciąganie R_m od 310 do 360 MPa, wydłużenie A od 42 do 36% oraz współczynnik anizotropii normalnej około 1,6. Stale typu IS (Isotropic) mają one skład chemiczny i właściwości mechaniczne zbliżone do stali typu HS-IF (rys. 3). Charakteryzują się mikrostrukturą ferrytyczną, a ich charakterystyczną cechą jest wartość współczynnika anizotropii płaskiej $\Delta r = 0$. Oznacza to, że blachy stalowe wykazują izotropowe właściwości podczas tłoczenia, co pozwala uzyskać wytłoczkę bez charakterystycznych „uch”. Stale typu C-Mn są to klasyczne stale masowego zużycia o mikrostrukturze ferrytyczno-perlitycznej, zawierające zazwyczaj poniżej 0,1% C i do 1,5% Mn [6, 8].

Analiza stali typu HSLA (High Strength Low Alloy)

Stale typu HSLA są to stale wywodzące się ze stali typu C-Mn. Zawierają one mikrododatki o dużym powinowactwie do węgla i azotu, tj. Nb, Ti, V o zawartości poniżej 0,1%. Pierwiastki metaliczne tworzą z C i N podczas obróbki plastycznej na gorąco dyspersyjne cząstki węglikoazotków, umacniające wydzieleniowo stal oraz ograniczające rozrost ziaren austenitu podczas walcowania wieloprzepustowego, umożliwiając uzyskanie drobnoziarnistej struktury wyrobów.

Nowoczesne, wielofazowe stale wysokowytrzymałe

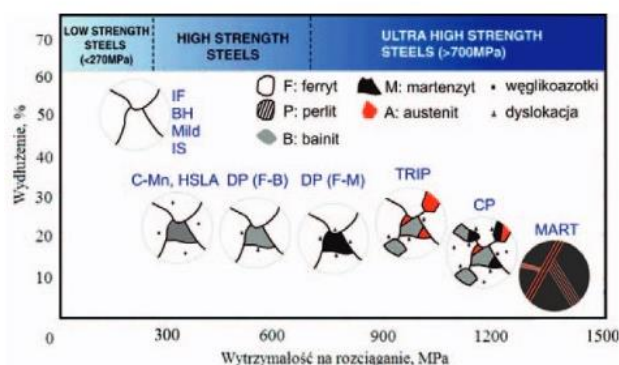
Schematyczne przedstawienie mikrostruktury nowoczesnych gatunków wielofazowych stali wysokowytrzymałych zawiera rys. 4, na którym przedstawiono także przybliżony zakres wydłużenia oraz wytrzymałości na rozciąganie, uzyskiwany przez poszczególne

grupy stali. W rzeczywistości dla danego gatunku stali można uzyskać bardzo szeroki zakres własności mechanicznych w zależności od zastosowanej technologii wytwarzania, parametrów obróbki cieplnej itp. W tab. 1 przedstawiono skład chemiczny typowych stali wielofazowych.

Stale typu DP (Dual Phase)

Są to stale dwufazowe, w których drobne wyspy martenzytu są równomiernie rozmieszczone w osnowie ferrytycznej (rys. 4), przy czym udział martenzytu wynosi najczęściej od 15 do 30%. Zawartość węgla w tych stalach wynosi od 0,05 do 0,18%, krzemu – od 0,1 do 0,6%, a Mn – od 1 do 2%.

Często w celu poprawy hartowności stosowane są Cr i Mo (1, 6, 7). Właściwości stali dwufazowych zależą od udziału, twardości i rozmieszczenia martenzytu, a także od wielkości ziaren i twardości ferrytu. Zachowują się one jak materiał kompozytowy, w którym ferryt stanowi osnowę gwarantującą dobre właściwości plastyczne, natomiast martenzyt jest składnikiem zwiększającym wytrzymałość.

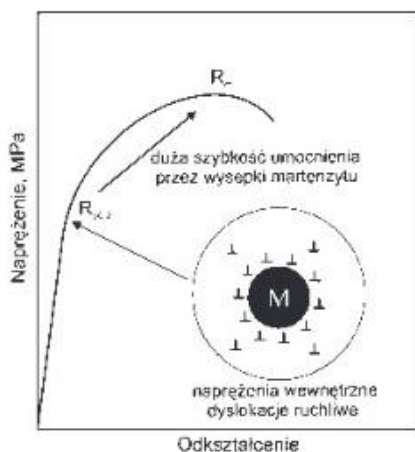


Rys. 4. Schematyczne przedstawienie mikrostruktury różnych gatunków stali konwencjonalnych i wielofazowych w transporcie

Strukturę ferrytyczno-martenzytyczną można uzyskać albo w wyniku obróbki cieplnej blach po walcowaniu na zimno bądź przez zastosowanie kontrolowanego chłodzenia bezpośrednio po zakończeniu walcowania na gorąco. Charakterystyczną cechą stali typu DP jest brak występowania wyraźnej granicy plastyczności (górną i dolną) oraz odkształcenia Lüdersa na krzywej rozciągania. Cechy te są szczególnie ważne dla blach poddawanych tłoczeniu i innym operacjom kształtowania technologicznego. W trakcie końcowego etapu obróbki cieplnej blach dochodzi do przemiany martenzytycznej austenitu, rozmieszczonego w postaci wysepek w ferrycie. Podczas przemiany martenzytycznej, która wiąże się ze zwiększeniem objętości, wokół powstałego martenzytu występuje obszar naprężeń ściskających i generowane są nowe dyslokacje (rys. 5). Istotne jest, że dyslokacje te są zdolne do ruchu w początkowym etapie odkształcenia plastycznego, co tłumaczy brak występowania wyraźnej granicy plastyczności. Obecność twardych wysepek martenzytu decyduje o silnym umocnieniu odkształceniowym stali w początkowym stadium odkształcenia plastycznego, co opóźnia zapoczątkowanie przewężenia próbki w próbie rozciągania oraz pocienienia blach podczas tłoczenia. W rezultacie stale typu DP cechują się korzystnym połączeniem wytrzymałości i ciągliwości oraz niską wartością ilorazu $R_{p0,2} / R_m$ [5].

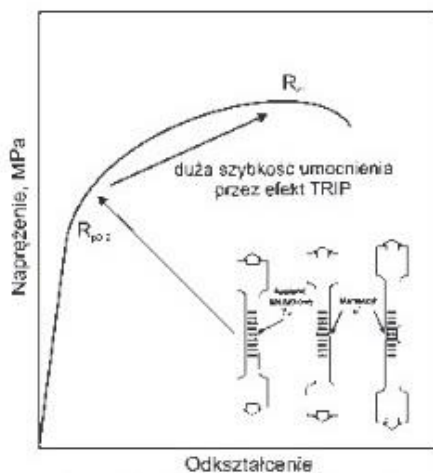
Stale typu TRIP (Transformation Induced Plasticity)

Są to stale złożone z osnowy ferrytycznej, w której rozmieszczone są wyseпки bainityczno-austenityczne. Typowe stale typu TRIP zawierają najczęściej 0,2% C, 1,5% Mn oraz 1,5% Si (tab. 1).



Rys. 5. Schematyczne przedstawienie krzywej rozciągania

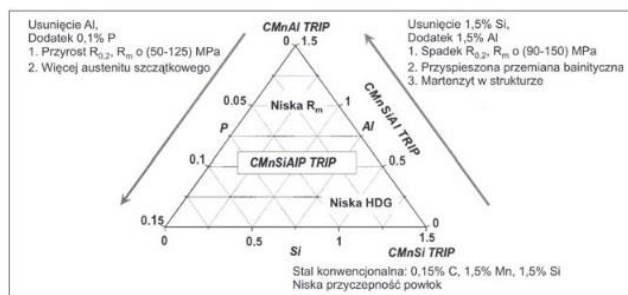
Taka kombinacja pierwiastków zapewnia udział austenitu szczytkowego na poziomie od 10 do 15%, pod warunkiem poprawnego przeprowadzenia obróbki cieplnej. Zasadnicze znaczenie ma obecność krzemu, który hamuje wydzielanie węglików podczas wytrzymałości blach stalowych w zakresie przemiany bainitycznej. W ten sposób węgiel nie jest „konsumowany” przez węgliki, lecz wzbogaca austenit do zawartości umożliwiającej obniżenie temperatury początku przemiany martenzytycznej M_s poniżej pokojowej, a w efekcie stabilizację austenitu szczytkowego. Niestety Si powoduje znaczne utrudnienia podczas cynkowania blach, gdyż tworzące się na powierzchni związki nie zapewniają należytej zwilżalności blach przez ciekły cynk. Z tego względu rozwijane są także stale zawierające Al i/lub P (tab. 1), które mają także pozytywny wpływ na hamowanie węglików (rys. 7).



Rys. 6. Schematyczne przedstawienie krzywej rozciągania stali wielofazowych typu TRIP wraz ze schematem indukowanej odkształceniem przemiany martenzytycznej

Charakterystyczną cechą stali TRIP jest przemiana martenzytyczna zachodząca w trakcie kształtowania technologicznego blach. Przemiana martenzytyczna austenitu szczytkowego zachodzi stopniowo w miarę wzrostu stopnia odkształcenia. Przemiana ta, zachodząc w kolejnych miejscach wyłóczki, zapobiega lokalizacji odkształcenia, a jednocześnie prowadzi do silnego umocnienia odkształceniowego (rys. 6). Prowadzi to do jednoczesnego zwiększenia wartości R_m oraz do opóźnienia zapoczątkowania tworzenia się szyjki w próbie rozciągania (oraz pocienienia grubości blachy podczas tłoczenia), a tym samym do uzyskania dużego wydłużenia

równomiernego. Szczególnie korzystne połączenie wysokiej wytrzymałości i plastyczności jest główną cechą stali wielofazowych z efektem TRIP [6,7].



Rys. 7. Wpływ pierwiastków stopowych na wybrane cechy mikrostrukturalne oraz własności mechaniczne i technologiczne stali wielofazowych

Stale typu DP (F-B) (Ferritic-Bainitic)

Są to stale dwufazowe zawierające zamiast martenzytu wysepki bainityczne (rys. 4). Mniejsza różnica twardości między składnikami strukturalnymi w porównaniu ze stałą DP (F-M) powoduje, że mają one szczególnie dobrą podatność na kształtowanie krawędzi blach oraz kształtowanie kołnierzy, a także dobrą wytrzymałość zmęczeniową.

Stale typu CP (Complex Phase)

Są to stale zawierające drobnoziarnisty ferryt, bainit, martenzyt oraz austenit szczytkowy (rys. 2.2). Są zazwyczaj walcowane na gorąco i dodatkowo umacniane przez dyspersyjne cząstki węglikoazotków Nb i Ti. Wzrost hartowności zapewniony jest przez dodatki Cr i Mo (tab. 2.1). Wykazują one szczególnie dużą podatność na pochłanianie energii w warunkach obciążeń dynamicznych.

Tab. 1. Skład chemiczny typowych stali wielofazowych

TYP STALI	C	Mn	Si	Al	Mo	Cr	INNE
DP1 (F-M)	0,10	1,50	0,10	-	-	0,8	-
DP2 (F-M)	0,10	1,50	0,25	-	0,15	-	0,1 Ti, B
TRIP1	0,20	1,50	1,50	-	-	-	-
TRIP2	0,24	1,50	0,25	1,50	0,15	-	-
DP3 (F-B)	0,07	0,80	0,50	-	-	-	0,03 Nb
CP	0,15	1,50	0,25	-	0,20	0,30	Ti, Nb, B
HF	0,22	1,25	0,20	-	-	-	0,003 B
MART	0,05-0,2	1,50	0,20	-	-	-	-

Stale typu HF (Hot-Formed)

To zazwyczaj tanie stale o składzie odpowiadającym gatunkowi 22MnB5 (tab. 1). Są one przeznaczone do tłoczenia skomplikowanych elementów na gorąco (słupki B, zderzaki) i następnego hartowania z prasą. Wykorzystuje się w ten sposób doskonałą odkształcalność austenitu, a gotowy element ma właściwości odpowiadające stalom o strukturze martenzytu odpuszczonego. Elementy są zabezpieczone przed utlenianiem przez powłoki typu Al-Si.

Stale typu MART (Martensitic)

Są to stale o mikrostrukturze martenzytu, zawierające czasem niewielki udział bainitu i/lub austenitu szczytkowego (rys. 4). Charakteryzują się najwyższymi własnościami wytrzymałościowymi, które zależą w głównej mierze od zawartości w stali węgla. Ze względu na wydłużenie mniejsze od 10% ich odkształcanie plastyczne jest możliwe jedynie przez kształtowanie walcami.

PODSUMOWANIE

Kierunki rozwoju materiałów, wykorzystywanych technologii i konstrukcji mających zastosowanie w produkcji pojazdów kolej-

wych są z jednej strony określane przez wymagania techniczne i ekonomiczne stawiane przez przemysł, a z drugiej strony przez nieustający nacisk ekologów na ograniczenie zużycia paliwa i emisji CO₂. Generuje to innowacyjność w zakresie zastosowań nowoczesnych materiałów, metod ich przetwarzania i nowych rozwiązań konstrukcyjnych i skutkuje zmniejszaniem masy pojazdu. Bardziej śmiało prognozy już dzisiaj podają, że przy obecnym tempie rozwoju techniki, w niedalekiej przyszłości masę pojazdu uda się zmniejszyć średnio o 30 %.

Niezwykle ważnym aspektem w procesie projektowania i wykorzystywania nowoczesnych materiałów jest system recyklingu wyeksploatowanego pojazdu. Producenci taboru projektując pojazdy muszą uwzględniać konieczność poddania ich recyklingowi po wycofaniu z eksploatacji, co wyraża się w stosowaniu materiałów podatnych na recykling, znakowaniem materiałów oraz odpowiednim ich łączeniu, co umożliwi szybki demontaż i rozdzielenie frakcji materiałowych. Tym samym wskaźnik odzysku taboru szynowego może wynieść nawet 95%, podobnie jak w przypadku pojazdów samochodowych. Rzeczywisty wskaźnik odzysku będzie jednak zależał od wielu czynników takich jak: istniejące zaplecze specjalistycznych zakładów recyklingu materiałowego, dostępność technologii odzysku zwłaszcza nowych typów materiałów, popyt na surowce wtórne i części do ponownego użytku, regulacje prawne zobowiązujące podmioty gospodarcze do osiągnięcia określonych wskaźników odzysku oraz oczekiwania i polityka ochrony środowiska stosowana przez użytkowników taboru [2].

Obserwując trendy i tempo rozwoju transportu kolejowego można prognozować, że istniejące jeszcze ograniczenia zastosowań nowoczesnych materiałów, do których można zaliczyć: wysokie ceny, uwarunkowania technologiczne oraz utrudniona automatyzacja produkcji wielkoseryjnej, jednakże patrząc na rynek transportu samochodowego wdaje się, że zostaną one wkrótce przewyżczone.

BIBLIOGRAFIA

1. Pietrzak K., Pietrzak O.: Ekonomiczne i organizacyjne aspekty transportu kolejowego. Bydgoszcz 2013.
2. Merkisz-Guranowska A., Daszkiewicz P., Merkisz J., Andrzejewski M., Stawecka H.: Zrównoważona polityka odzysku materiałów z taboru kolejowego wycofanego z eksploatacji. Najnowsze technologie w transporcie szynowym; Józefów 2014.
3. Master plan dla transportu kolejowego w Polsce do 2030 roku, Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
4. Holtzer M.: Procesy metalurgiczne i odlewnicze stopów żelaza, Warszawa, 1, 2013, Wydawnictwo Naukowe PWN.
5. Korzyński M.: Nonconventional Finishing Technologies, Warszawa, 2013, Wydawnictwo Naukowe PWN.
6. Lipiński T., Wach A.: The Effect of Fine Non-Metallic Inclusions on The Fatigue Strength of Structural Steel. ARCHIVES OF METALLURGY AND MATERIALS Tom: 60 Zeszyt: 1 2015.

7. Ryszko A: Drivers and barriers to the implementation of eco-innovation in the steel and metal industry in Poland. 23rd International Conference on Metallurgy and Materials METAL 2014.
8. Rogal Ł., Korpała G., Dutkiewicz J.: Evolution of microstructure in 100Cr6 steel after cooling from a thixoforming temperature to bainitic transformation ranges. MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING A-STRUCTURAL MATERIALS PROPERTIES MICROSTRUCTURE AND PROCESSING Tom: 624, 2015.

High temperature alloy steel used In railway vehicles

Abstract

The article discusses the possibility of using modern high temperature steel for vehicles used in rail transport. The development of the railway industry determines the search for new construction materials for the production of high-strength structural components and technological susceptibility to reduced vehicle weight and rational use of energy, including recycling of used materials. By using the materials discussed in this article, it will be possible to achieve a rolling stock recovery rate of up to 95%, as in the case of motor vehicles. At present, various types of deep-drawing steel and HSLA type steels are commonly used on rail vehicle bodies. Replacing mild steel with higher strength will allow the use of smaller steel sheets, resulting in reduced weight reduction due to the use of thinner steel sheets, which will directly reduce the energy consumption of these vehicles.

Autorzy:

dr hab. inż. **Maciej Bajerlein** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, maciej.bajerlein@put.poznan.pl

dr inż. **Jarosław Czerwiński** – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, j.czerwinski@tabor.com.pl

prof. dr hab. inż. **Jerzy Merkisz** – Politechnika Poznańska, Instytut Silników Spalinowych i Transportu, jerzy.merkisz@put.poznan.pl

dr inż. **Paweł Daszkiewicz** – Instytut Pojazdów Szynowych „TABOR” w Poznaniu, p.daszkiewicz@tabor.com.pl

dr inż. **Łukasz Rymaniak** – Politechnika Poznańska, Wydział Maszyn Roboczych i Transportu, lukasz.rymaniak@put.poznan.pl