



MAMMUT Polska

crucibles, spare parts, service



eccomelt

WHITEPAPER

**ECCOMELT356.2 -
ekologiczna i ekonomiczna
alternatywa dla
pierwotnego stopu A356.2
do wielu zastosowań**

Martin Hartlieb, VIAMI INTERNATIONAL INC., Beaconsfield, QC, Canada
Guy Morin, CMQ Centre Métallurgie du Québec, Trois-Rivières, Canada

19 CZERWCA 2018

STRESZCZENIE / PODSUMOWANIE

Firma Eccomelt LLC produkuje przyjazną dla środowiska, ekonomiczną alternatywę dla pierwotnych stopów A356.2, zwaną eccomelt356.2, która jest wytwarzana w procesie recyklingu felg aluminiowych A356.2 przy użyciu opatentowanego procesu kruszenia i czyszczenia. Firma Eccomelt sprzedała ponad 272 milionów kilogramów tego produktu odlewniom, producentom OEM, producentom Tier 1 oraz hutowniom/topialniom/rafineriom w Ameryce Północnej, Europie i Meksyku, gdzie często zastępuje on stopy pierwotne A356.2 (częściowo lub całkowicie) w wielu zastosowaniach odlewniczych A356. Po wprowadzeniu (często niewielkich) poprawek chemicznych można z łatwością wytwarzać inne wysokiej jakości konstrukcyjne stopy aluminium. Ponieważ eccomelt356.2 jest w 100% aluminium pochodzącym z recyklingu, które nie zostało przetopione na gąski, ma najniższy możliwy ślad węglowy dla wysokiej jakości stopu aluminium.

CMQ oceniło jakość stopu eccomelt356.2 poprzez odlewanie prętów testowych w formach piaskowych i stałych. Jakość metalu i właściwości wytrzymałościowe stopu eccomelt356.2 spełniają lub przekraczają wymagania ASTM zarówno dla odlewów w formach piaskowych, jak i stałych. W odlewaniu w formach piaskowych osiągnięto wskaźnik jakości (QI) 404 MPa przy użyciu tylko odgazowanego metalu (316 MPa to minimum ASTM, a ponad 400 MPa jest uważane za bardzo dobre). W przypadku odlewania w formach stałych, przy odgazowanym metalu uzyskano wskaźnik QI równy 446 MPa, a po zwiększeniu ciśnienia (w celu symulacji najlepszego w swojej klasie procesu odlewania) liczba ta wzrosła do 477 MPa. Należy zauważyć, że QI równe 367 MPa to minimum, a ponad 450 MPa jest uważane za bardzo dobry wynik. Ponadto, modyfikowanie chemiczne nie poprawiło tych właściwości, co świadczy o tym, że metal jest bardzo czysty i nie wymaga intensywnej obróbki czyszczącej.

Eccomelt356.2 charakteryzuje się wysoką szybkością topienia, co dodatkowo obniża koszty energii związane z przetwarzaniem materiału. Odłamki topią się bardzo szybko ze względu na wysoki stosunek powierzchni do masy, nie wytwarzają dymu, mogą być gęsto upakowane w suchym piecu lub szybko przetopione w kąpeli płynnego metalu, dlatego też charakteryzują się niską stratą przetopu. Wyższa o 1% strata stopu w porównaniu z gąskami, którą odnotowaliśmy, wynika ze zwiększonej powierzchni produktu. Eccomelt356.2 jest bardzo czysty, a powstawanie kożucha żużlowego w dużym stopniu zależy od jakości powierzchni. Nie stwierdzono obecności zanieczyszczeń, które mogłyby dodatkowo przyczynić się do generowania kożucha we wsadzie. Ogólnie rzecz biorąc, powstawanie kożucha jest także wynikiem stosowanego oprzyrządowania oraz dokładnej procedury topienia, obróbki i przenoszenia, co może mieć większy wpływ niż stosunek powierzchni do masy materiału wsadu. Należy zauważyć, że niższa cena materiału eccomelt356.2 oraz oszczędności energii, o których mowa powyżej, w normalnych warunkach z nawiązką rekompensują dodatkowy ubytek 1% stopu i czynią z niego bardzo ekonomiczny zamiennik dla A356.2.

SPIS TREŚCI

1 Wstęp	4
2 Analiza w Centrum Metalurgii w Quebecu (CMQ)	5
3 Wyniki	6
3.1. Czystość powierzchni	6
3.2 Wytop	8
3.3 Analiza chemiczna	8
3.4 Próba rozciągania	10
3.5 Zawartość wodoru	12
3.6 Ocena mikroskopowa	13
3.6.1 Porowatość	13
3.6.2 Rozstaw ramion dendrytów, modyfikacja strontem i struktura	14
4 Czystość metalu	16
5 Testy topnikowania	16
6 Aspekty ekonomiczne i środowiskowe	17
7 Wnioski i dyskusja	19

WSTĘP

Jak twierdzą różne Stowarzyszenia Producentów Aluminium (AAA, EAA, CAA, itp.) oraz Międzynarodowy Instytut Aluminium (IAI), aluminium można bez końca poddawać recyklingowi, a w procesie recyklingu zużywa się tylko 5% energii potrzebnej do produkcji aluminium pierwotnego. W rezultacie ślad węglowy aluminium pochodzącego z recyklingu wynosi tylko 5% śladu węglowego aluminium pierwotnego. [1] Głównymi winowajcami szkodliwego wpływu na środowisko wydobycia i wytopu aluminium pierwotnego są procesy rafinacji tlenku glinu i elektrolizy, ponieważ wymagają one dużych ilości energii elektrycznej, a zatem zużywają około 20 razy więcej energii niż proces recyklingu. Niewielka ilość energii zużywanej w procesie recyklingu aluminium wynika ze zbierania, sortowania, przetwarzania, a następnie przetapiania metalu w celu odlania go w postaci wlewków, kęsków itp., przy czym ten ostatni proces wymaga największej ilości energii i ma największy wpływ na środowisko.

Eccomelt356.2 jest wytwarzany z felg aluminiowych pochodzących z recyklingu w opatentowanym procesie czyszczenia i rozdrabniania, bez przetapiania i odlewania we wlewkę - co oznacza, że jego ślad węglowy jest znacznie niższy nawet od 5% typowo stosowanego w recyklingu aluminium i można go oszacować na zaledwie 1- 2% śladu węglowego pierwotnych stopów aluminium, takich jak A356.2.

Eccomelt356.2 ma skład bardzo podobny do A356.2. Jedynym wyjątkiem jest zawartość Fe, która zwykle mieści się w zakresie średnio .11-.14% (w porównaniu z wartością graniczną .12% dla A356.2.) Ponieważ koła są wykonane z A356.2, często zawierają jeszcze wyższą specyfikację czystości w odniesieniu do Fe niż wartość graniczna 0,12. W rezultacie eccomelt356.2 jest obecnie sprzedawany odlewniom, odlewniom ciśnieniowym, topialniom/rafineriom jako substytut A356.2, w postaci worków odpowiednich do przechowywania oraz celów logistycznych. W razie potrzeby można go mieszać/rozcieńczać z aluminium pierwotnym, aby dokładnie odpowiadał składowi chemicznemu A356.2, chociaż w przypadku większości odlewów A356 nie jest to konieczne.

Ponieważ felgi w Ameryce Północnej są zwykle produkowane z pierwotnego stopu aluminium A356.2 (plus pewna zawartość z recyklingu tego samego stopu) w bardzo wąskim zakresie specyfikacji i z bardzo niską zawartością zanieczyszczeń, można je łatwo przetworzyć na bardzo wartościowy materiał wsadowy do wszelkich odlewów A356 poprzez odgazowanie, topnikowanie (w razie potrzeby) i filtrowanie. Inne podobne stopy Al-Si można również łatwo wytworzyć po wprowadzeniu pewnych zmian w składzie chemicznym. [2] W odlewni stop eccomelt356.2 jest przetapiany w taki sam sposób jak każdy inny, więc nie wymaga dodatkowej energii i nie ma żadnego wpływu na środowisko. Ponieważ produkt jest bardzo czysty, nie są generowane żadne szkodliwe emisje, w przeciwieństwie do większości innych metali pochodzących z recyklingu, które przed przetopieniem wymagają instalacji filtra materiałowego (baghouse'u) lub innej rozbudowanej filtracji powietrza. Eccomelt356.2 może wymagać czyszczenia po przetopieniu (np. filtrowania metalu i/lub odgazowania). Właściwe praktyki czyszczenia metalu są zalecane dla wszystkich odlewni w każdym przypadku, zwłaszcza gdy wewnętrzny złom, prowadnice itp. są przetapiane razem z nowym/zewnętrznym metalem.

Obecność warstw tlenków i zanieczyszczeń w stopie może mieć ogromny wpływ na każdy odlew aluminiowy. Przy zwiększonej powierzchni, jak to ma miejsce w przypadku kół kruszonych, można oczekiwać nieco większego potencjalnego ryzyka wystąpienia tlenków i innych wtrąceń. W celu spełnienia wymagań normy ASTM w zakresie badań wytrzymałości na rozciąganie, zalecane jest zawsze odpowiednie oczyszczenie stopu, dodanie uszlachetniacza chemicznego oraz jego modyfikacja przed odlewaniem - niezależnie od rodzaju stosowanego produktu wejściowego (eccomelt356.2 lub wlewkę pierwotną/wtórny/teownik). W niniejszym dokumencie opisujemy badania i ocenę, jakie przeprowadziliśmy z materiałem eccomelt356.2 w celu określenia jego wpływu na odlewnie tradycyjne, ciśnieniowe i przetapialnie w porównaniu z pierwotnym materiałem A356.2.

ANALIZA W CENTRUM METALURGII W QUEBECU (CMQ)

Poprzez badania w CMQ próbowaliśmy określić techniczny i handlowy wpływ stosowania stopu eccomelt356.2 w odlewniach tradycyjnych i ciśnieniowych zamiast wlewków. Skupiono się zatem na wpływie na zanieczyszczenia i zawartość H w stopie, wymaganych metodach czyszczenia, wpływie na osiągalne właściwości odlewów oraz aspektach handlowych.

Wsad o masie 125kg wykonany w 100% z materiału eccomelt356.2 został skontrolowany pod kątem czystości powierzchni, a następnie przygotowany. Po stopieniu w temperaturze 730°C jakość nieprzetworzonego wsadu zbadano następującymi metodami:

- pomiar wodoru metodą AISCAN
- pomiar wodoru metodą RPT (Reduced Pressure Test)
- pręty testowe odlane w stałej formie zgodnie z ASTM B108.

Stopiony materiał był następnie uszlachetniony chemicznie z dodatkiem 0,05 % Ti (Al%5Ti1B). Następnie przez 20 minut odgazowywano go argonem za pomocą odgazowywacza obrotowego firmy Palmer. Odgazowany i oczyszczony stop badano następującymi metodami:

- pomiar wodoru metodą AISCAN
- pomiar wodoru metodą Reduce Pressure Test
- pręty testowe odlane w stałej formie zgodnie z ASTM B108 (próbki PDT)
- pręty testowe odlane w formie piaskowej ze spoiwem żywicznym Techniset® zgodnie z ASTM B26

Analiza PoDFA materiału eccomelt356.2 została wykonana przez różne podmioty i będzie wykonana w CMQ w ramach p rzyszłych prac.

Wszystkie odlewane pręty poddano obróbce cieplnej do temperatury T6 zgodnie z normą ASTM B917 oraz T61 z niewielką modyfikacją w stosunku do normy ASTM B917 w celu uzyskania większego wydłużenia.

- T6 dla prętów z odlewów piaskowych - wyżarzanie w roztworze w temperaturze 540 °C przez 9 godzin, hartowanie w wodzie o temperaturze 25 °C, a następnie starzenie w temperaturze 155 °C przez 4 godziny dzień później.
- 61 dla prętów z odlewów stałych - wyżarzanie w roztworze w temperaturze 540 °C przez 9 godzin, hartowanie w wodzie o temperaturze 25 °C, a następnie starzenie w temperaturze 162 °C przez 9 godzin. (50% próbek poddano obróbce cieplnej poprzez prasowanie izostatyczne na gorąco (tzw. obróbka HIP) w temperaturze 535 °C i ciśnieniu 15000 psi przez 2 godziny przed obróbką cieplną).

Drugą serię próbek odlano po topnikowaniu i odgazowaniu stopu. Wyniki tej serii badań zostaną przedstawione w oddzielnej części raportu.

WYNIKI

3.1 Czystość powierzchni

Materiał Eccomelt356.2 został dostarczony w workach typu supersack (rysunek 1). Stwierdzono, że metal jest bardzo czysty i w połamanych częściach wystarczająco mały, aby zapewnić dobre zagęszczenie podczas załadunku wsadu i wysoką gęstość w piecu.

Opatentowany przez Eccomelt proces nietermiczny tworzy czyste powierzchnie metaliczne, wolne od pigmentów farb, które zwykle pozostają na aluminium z recyklingu, gdy stosowany jest proces termicznego usuwania odpadów. W rzeczywistości „żaden termiczny system odbarwiania nie jest w stanie usunąć tych związków i zwykle pozostają one na powierzchni złomu w postaci białego lub lekko zabarwionego kruchego osadu”. (Evans i Guest, „The Aluminum Decoating Handbook”). W rzeczywistości proces Eccomelt usuwa wszystkie zanieczyszczenia powierzchni i eliminuje zanieczyszczenia krzyżowe, które powstają w wyniku mieszania się złomu z innymi rodzajami procesów waloryzacji.

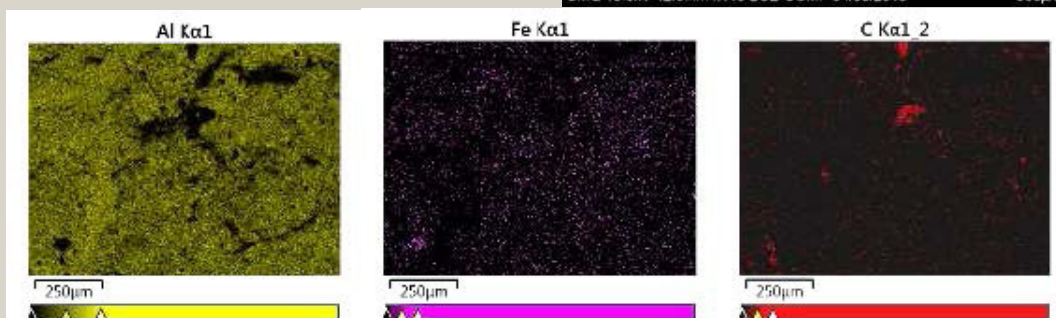
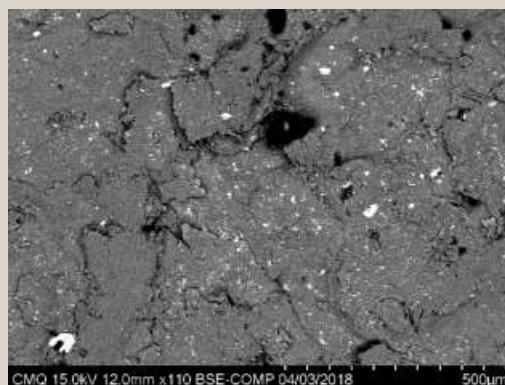


Rysunek 1:

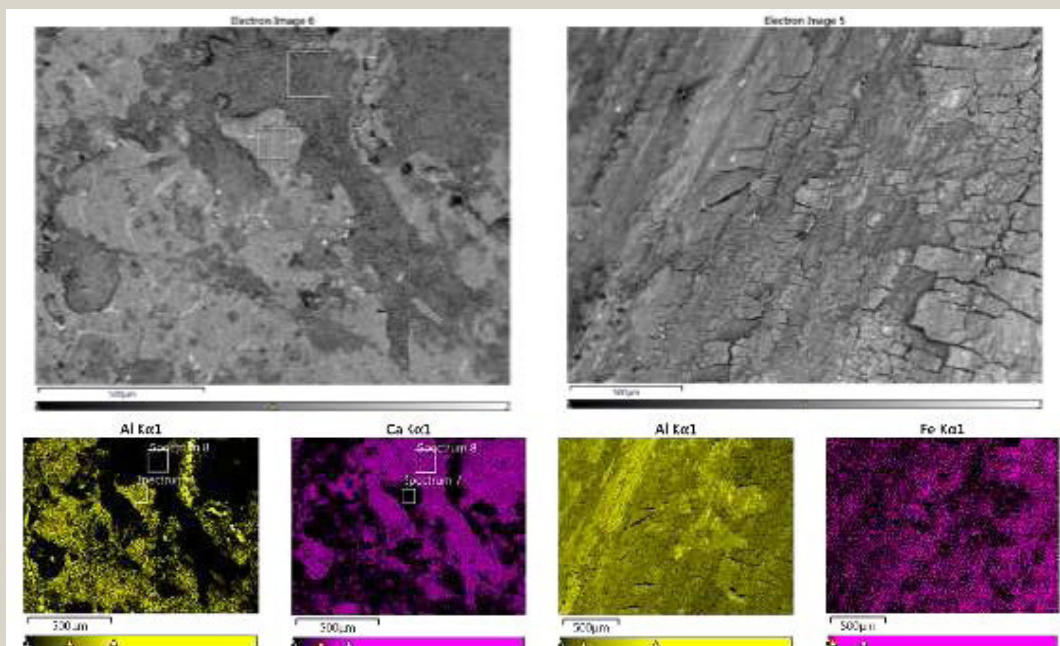
Otrzymany materiał
Eccomelt356.2

Na rysunkach 2 i 3 pokazano za pomocą zdjęć SEM porównanie powierzchni wykonanych w procesie Eccomelt356.2 (rysunek 2) i kół poddanych recyklingowi termicznemu (rysunek 3):

Rys. 2: Powierzchnia stopu eccomelt356.2; bardzo czyste aluminium z niewielkimi cząstkami żelaza i węgla



Rys. 3 Powierzchnia złomu poddanego obróbce termicznej, w znacznym stopniu pokryta związkami wapnia i tlenkiem żelaza



3.2 Wytop

Wytop przeprowadzono w piecu oporowym Dynarad MG260 o mocy 75 kW z tygłem z węgla krzemowego. Po wstępnym podgrzaniu w temperaturze 275 °C, topienie zakończono w ciągu 3 godzin i 25 minut. (Zazwyczaj topienie mniejszych kawałków pokruszonych kół przebiega szybciej niż większych wlewków lub teowników, ze względu na większą powierzchnię). Pod koniec topienia na powierzchni roztopionego materiału widoczne były pływające łuski ostatnich kawałków materiału eccomelt356.2. Tlenki te zostały odłowione przed pobraniem próbki nieprzetworzonego stopu; całkowita ilość odłowionego materiału wyniosła 0,29kg lub 0,5% wsadu, co jest jak najbardziej akceptowalne i mieści się w normie dla większości typów materiałów wsadowych.

3.3 Analiza chemiczna

Analiza chemiczna metalu (tabela 1) w stanie, w jakim go otrzymano, była całkowicie zgodna z normą A356.2 pod względem czystości, co nie jest zaskoczeniem, ponieważ metal był bardzo czysty, a koła zostały najprawdopodobniej wykonane z A356.2 (przy czym specyfikacja czystości w odniesieniu do Fe była prawdopodobnie jeszcze wyższa niż limit 0,12%). Podczas wytopu metal był nieznacznie zanieczyszczony pewną ilością Fe w tyglu (stąd 0,15% Fe w stopionym metalu), ale nie miało to znaczącego wpływu na czystość, poza tym, że zasadniczo mieści się w specyfikacji A356.1.

Tabela 1a Analiza chemiczna i porównanie ze specyfikacjami ASTM

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	inne
Eccomelt356.2	7.0	0.11	0.004	0.006	0.334	0.005	0.12	0.03
Otrzymany								
Eccomelt 356.2 Stopiony	7.0	0.15	0.011	0.006	0.348	0.005	0.10	0.03
Eccomelt 356.2 W odgazowanym stopie	7.0	0.15	0.006	0.006	0.338	0.005	0.13	0.03
A356.0 ASTM B108	6.5- 7.5	0.20 max	0.20 max	0.10 max	0.25- 0.45	0.10 max	0.20	0.15
A356.1 ASTM B179	6.5- 7.5	0.15 max	0.20 max	0.10 max	0.30- 0.45	0.10	0.20	0.10 max
A356.2 ASTM B179	6.5- 7.5	0.12 max	0.10 max	0.05 max	0.30- 0.45	0.05	0.20 max	0.10 max

W stopie nie przeprowadzono modyfikacji strontu, ponieważ przed odgazowaniem zmierzono poziom pozostałości 88 ppm w stopie, a po odgazowaniu 79 ppm. Jak pokazano w części metalograficznej raportu, uzyskano modyfikację AFS Rating #5 (w pełni zmodyfikowany). W celu bardziej dogłębnego zbadania składu chemicznego przeanalizowaliśmy najważniejsze zanieczyszczenia ukryte w „innych” składnikach każdej specyfikacji stopu, aby sprawdzić, o ile lepszy jest produkt eccomelt356.2 od wymagań specyfikacji ASTM. Tabela 1b przedstawia wszystkie szczegóły:

Tabela 1b Analiza chemiczna i porównanie ze specyfikacją ASTM

	eccomelt356.2 stopiony	eccomelt356.2 odgazowany stop	Cu	Mn
Inne	0.026	0.026	0.15max	0.10max
Eccomelt 356.2 W odgazowanym stopie				
P A356.0 ASTM B108	0.0007	0.0009	0.05 max	0.05 max
Cr	0.005	0.005	0.05 max	0.05 max
Pb	0.0015	0.0011	0.05 max	0.05 max
Li	0.0001	0.0001	0.05 max	0.05 max
Sr	0.009	0.008	0.05 max	0.05 max
Ni	0.006	0.006	0.05 max	0.05 max
V	0.01	0.010	0.05 max	0.05 max

Wszystkie elementy znajdują się znacznie poniżej limitów ASTM i wyraźnie na poziomie typowym dla pierwotnych wlewków A356.2 stosowanych do produkcji kół lub elementów o kluczowym znaczeniu dla bezpieczeństwa, takich jak struktury nadwozia samochodu lub części zawieszenia.

3.4 Próba rozciągania

Próbie rozciągania wykonano na prętach testowych odlanych w stałej formie w celu sprawdzenia wpływu procesu odgazowania na stopiony materiał. W celu uzyskania najlepszych możliwych właściwości, z racji zamknięcia porowatości, wykonano prasowanie izostatyczne na gorąco na 50% prętów testowych odlanych w stałej formie (przy zastosowaniu najlepszych w swojej klasie procesów odlewniczych). Na rysunku 4 pokazano odlewy prętów testowych w postaci odlanej; wlew piaskowy ASTM B26 zawierał filtr umieszczony na dnie wlewu.

Przeprowadzono również próby rozciągania w formach piaskowych z odgazowanym, oczyszczonym metalem, a uzyskane wyniki porównano z wymaganiami normy ASTM B26.

Rys. 4 Pręty do badań odlewu, powyżej - piaskowa forma wg ASTM B26, poniżej - stała forma wg B108



Wyniki przedstawione w tabeli 2 stanowią średnią z 8 wyników prób rozciągania dla serii form stałych i 4 dla serii form piaskowych. Wskaźnik jakości oblicza się przy użyciu następującego wzoru:

$$\text{Eq 1 : } QI = UTS + 150 \log E \text{ in MPa}$$

Gdzie UTS to wytrzymałość na rozciąganie, a E to wydłużenie. Szczegółowe wyniki wraz z odchyleniem standardowym przedstawiono w załączniku 1.

Tabela 2 Wyniki rozciągania w porównaniu do specyfikacji ASTM

Stan	T6 T61 Ob- róbka cieplna	YS ksi	UTS ksi	E %	Wskaźnik jakości MPa
Forma stała Nie poddana obróbce szczegółowo	9 h at162 °C	32.8	39.2	4.3	370
Forma stała Odgazowana A356.0 ASTM B108	9 h at162 °C	33.8	44.4	8.4	446
Forma stała Odgazowana + HIP	HIP + 9h at162 °C	33.4	45.6	12.1	477
Forma stała Odgazowana +Flux	HIP + 9h at162 °C	32.7	45.1	9.6	459
Forma stała Odgazowana + Flux+ HIP	HIP + 9h at162 °C	33.8	46.0	11.5	477
Oddzielne pręty testowe wartość min ASTM B108	6-12 h at 155 °C	28.0	38.0	5	367
Forma piaskowa					
Odgazowana	4 h at155 °C	23.5	37.4	9.6	404
Forma piaskowa					
Oddzielne pręty testowe wartość min. ASTM B26	2-5 h at 155 °C	24.0	34.0	3.5	316

Dla obu technik formowania wyniki rozciągania formy eccomet356,2 są znacznie powyżej wartości min. wg ASTM:

- Wskaźnik jakości w formach ASTM powyżej 400 MPa w formach piaskowych jest uważany za bardzo dobry, 316 MPa jest minimalną wartością według ASTM B26. W naszych testach osiągnęliśmy 404 MPa
- Doskonały wynik przy zastosowaniu tylko odgazowanego metalu. - Wskaźnik jakości 450 MPa w formach stałych jest uważany za bardzo dobry, przy czym 367 MPa to wartość minimalna (odlewnie form stałych dla rynku high-end mogą osiągnąć wskaźnik jakości do 470 MPa). Dla porównania, wyniki testów CMQ dla prętów wyciętych z niskociśnieniowych form stałych o grubości 13 mm mają wskaźnik jakości 450 MPa. W naszych testach osiągnęliśmy wskaźnik jakości 446 MPa przy użyciu metalu odgazowanego, 459 przy użyciu metalu odgazowanego i po topnikowaniu.
- Rafinacja poprawiła wyniki rozciągania form stałych do imponującego poziomu QI wynoszącego 477 MPa, co wskazuje na najlepsze możliwe do uzyskania właściwości w optymalnych procesach odlewniczych PM/LPPM/Squeeze. Topnikowanie nie wykazało żadnej dodatkowej poprawy, co oznacza, że stop był już bardzo czysty i nie wymagał topnikowania ani dodatkowego czyszczenia.

Popękane powierzchnie badanych prętów poddano oględzinom w poszukiwaniu wtrąceń na ich powierzchni. Wszystkie pręty testowe nie poddane obróbce zawierały wtrącenia. Po odgazowaniu tylko jeden z 8 prętów testowych miał jedno wtrącenie i mniejsze wydłużenie wynoszące 4,9%. Wszystkie pozostałe pręty testowe z odgazowanego stopu (4 odlewy piaskowe i 8 prętów z form stałych badanych z obróbką HIP i bez niej) nie wykazały wtrąceń na powierzchni pękniętej. Innymi słowy, tylko 1 z 20 prętów testowych z odgazowanego stopu miał wtrącenie na powierzchni pęknięcia, co jest doskonałym wynikiem i potwierdza czystość stopu eccomelt356.2.

Przeprowadzono również badania twardości kilku odlanych prętów testowych i zgodnie z oczekiwaniami wszystkie wyniki były zgodne ze specyfikacją ASTM B108:

Tabela 3 Wartości twardości

Stan	T6 T61 Obróbka cieplna	Twardość Brinella HB
Forma stała Odgazowana	9 h at162 °C	82
Forma stała Odgazowana + HIP	9 h at162 °C	85
Forma piaskowa Odgazowana	4 h at155 °C	80

3.5 Zawartość wodoru

Metal odgazowano argonem za pomocą rotora obrotowego - co powinno być standardową praktyką w każdej dobrej odlewni tradycyjnej lub ciśnieniowej wykonującej wysokiej jakości odlewy strukturalne. Zawartość wodoru zmierzono za pomocą AISCAN i testu obniżonego ciśnienia (Reduced Pressure test). Wyniki (rys. 5) wskazują, że po obróbce poziom odgazowania mieści się w normalnej wartości przemysłowej (0,09 do 0,15 ml/100g).

Rysunek 5 Zawartość wodoru w stopie nie poddanym obróbce i w stopie odgazowanym



Nie poddany obróbce

RPT Gęstość 2,18, AISCAN (0,365 ml/100g)



Odgazowany

RPT Gęstość 2,66, AISCAN (0,128 ml/100g)

3.6 Ocena mikroskopowa

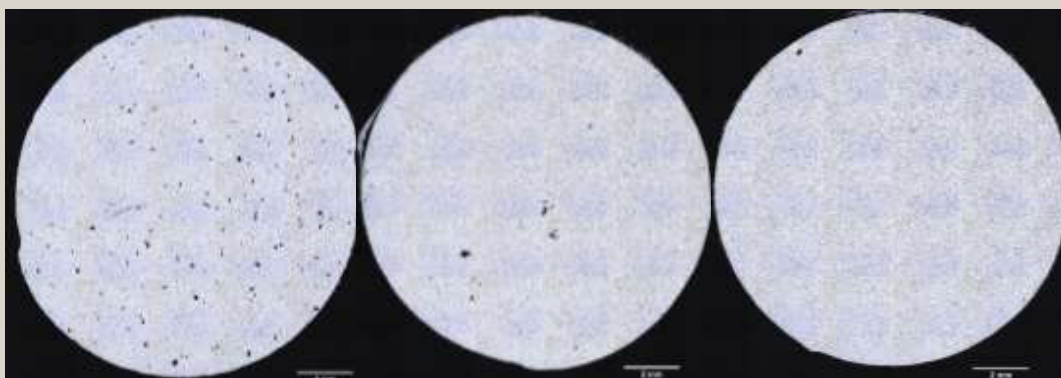
Próbki pobrano w przekroju zredukowanym z prętów testowych, których wyniki rozciągania były zbliżone do wartości średniej dla każdej serii.

3.6.1 Porowatość

Porowatość oceniono na podstawie analizy obrazu całkowitej powierzchni w przekroju zredukowanym. Jak pokazano na rys. 6, porowatość w pręcie z formą stałą wynosiła 0,67 % w przypadku stopu nie poddanego obróbce, 0,36 % w przypadku stopu odgazowanego i 0,02 % w przypadku stopu odgazowanego po obróbce HIP.

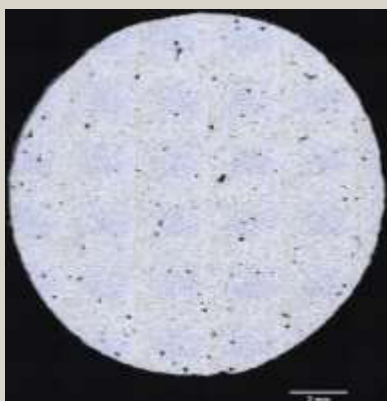
Na rysunku 6 widać, że zastosowanie obróbki HIP spowodowało zamknięcie porowatości i znaczną poprawę właściwości mechanicznych, a tym samym symulację najlepszych w swojej klasie wyników odlewniczych (np. odlewania niskociśnieniowego/przeciwiśnieniowego lub ewentualnie odlewania przez wyciskanie).

Rys. 6: typowa porowatość w prętach testowych z form stałych od lewej do prawej. Próbka nieprzetworzona, odgazowana i odgazowana+HIP



Porowatość w pręcie testowym z odlewu piaskowego o średniej wartości właściwości wytrzymałościowych przy rozciąganiu (rys. 7) wynosiła 0,53%. Mniejsza szybkość krzepnięcia w formie piaskowej z żywicą jest przyczyną większej porowatości w porównaniu z formą stałą.

Rys. 7: Porowatość w prętach odlewanych z piasku



3.6.2 Rozstaw Ramion Dendrytu, Modyfikacja Strontem i Struktura

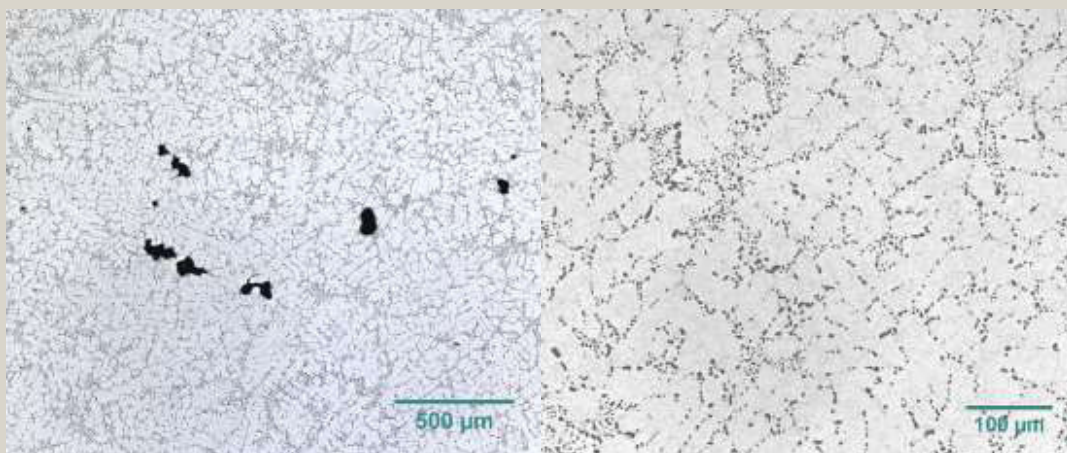
Rozstaw Ramion Dendrytu jest skorelowane z szybkością krzepnięcia. Szybkie chłodzenie w formach metalowych powoduje powstanie drobniejszej struktury niż w formach piaskowych. Modyfikacja strontem powoduje przekształcenie krzemu eutektycznego w kształcie igieł w kształt zaokrąglony, co poprawia wydłużenie.

Pręt testowy odlany z nieprzetworzonego metalu (rys. 8) wykazuje normalną/typową porowatość, drobną strukturę i klasyfikację AFS #5 Włóknista eutektyczna struktura krzemu bez fazy akrylowej, określana również jako „w pełni zmodyfikowana”. Oznacza to, że jeśli produkt ecomelt356.2 jest topiony i natychmiast odlewany w odlewni, zwykle nie wymaga dodatkowego uzupełnienia Sr.

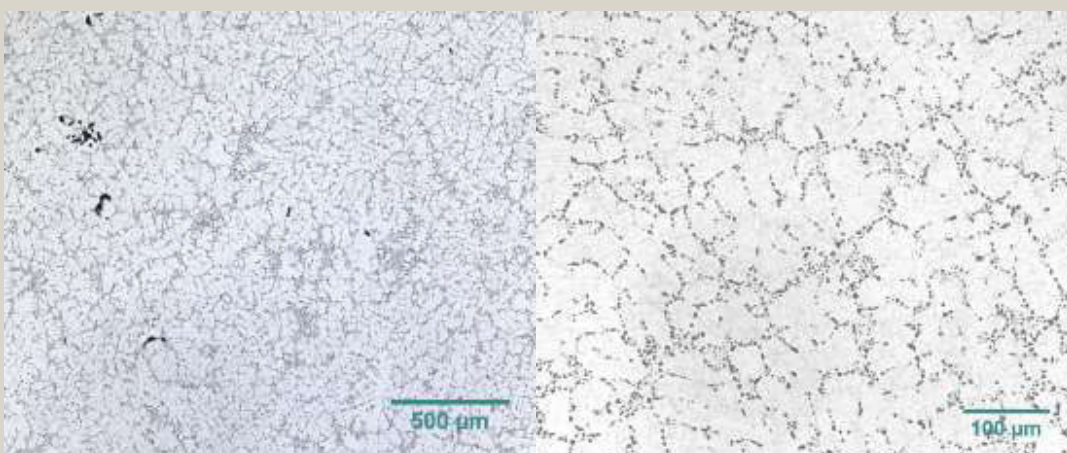
Odgazowany metal (rys. 9) wykazuje pewną normalną/typową porowatość i DAS równą $30,9 \mu\text{m}$ z odchyleniem standardowym $4,4 \mu\text{m}$, a także ocenę modyfikacji #5.

Obróbka HIP pod ciśnieniem 15000 psi i w temperaturze $535 \text{ }^\circ\text{C}$ przez 2 godziny (rysunek 10) nie zmieniła struktury, ale zlikwidowała porowatość.

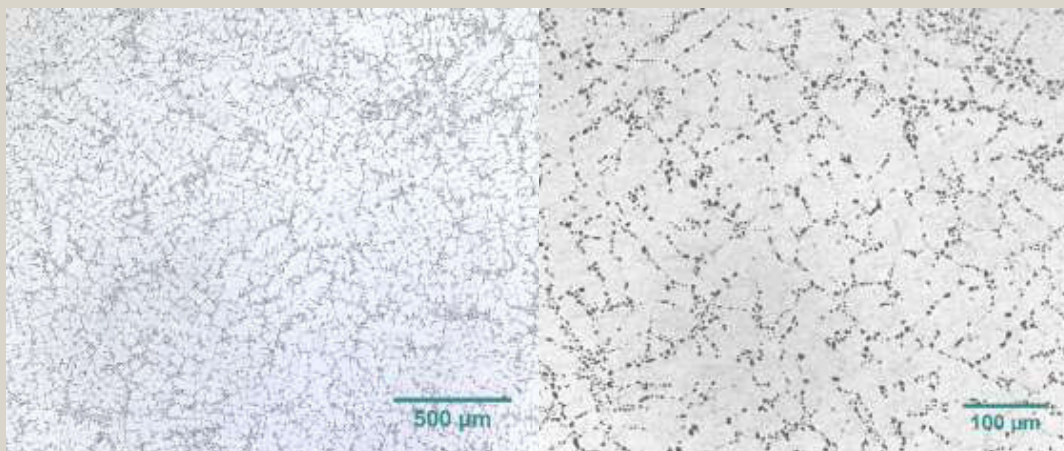
Rysunek 8 Nieprzetworzony stop, silnie zagazowany, forma stała



Rys. 9 Odgazowany stop, forma stała

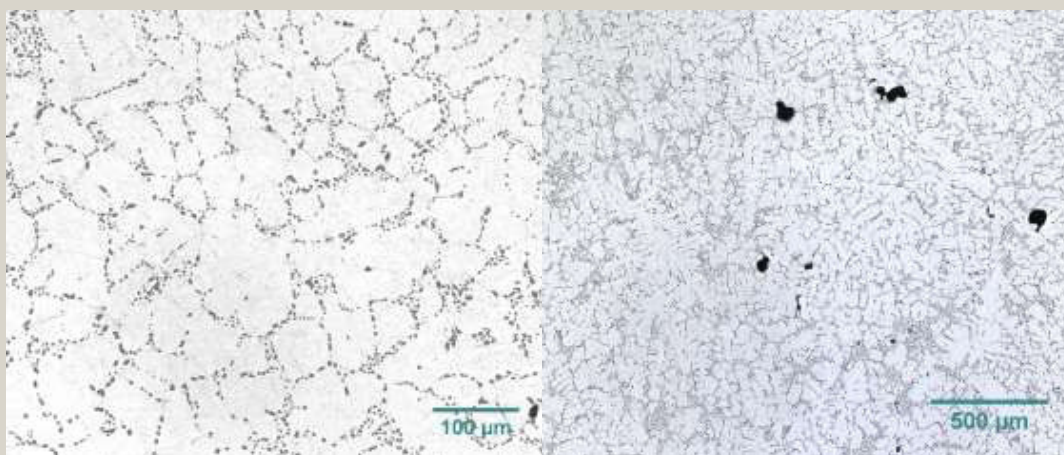


Rys. 10 Odgazowany stop po obróbce HIP, forma stała



Struktura metalograficzna w formie piaskowej (rys. 11) wykazuje odstępy między ramionami dendrytów (DAS) wynoszące 39,4 μm przy odchyleniu standardowym 5,5 μm. DAS jest nieco grubsza w formie piaskowej w porównaniu z formą stałą. Przekrój odlewu ma średnicę 12,5 mm w obu formach, ale szybkość chłodzenia w formie stałej jest większa.

Rys. 11 Odgazowany stop, forma piaskowa



CZYSTOŚĆ METALU

Czystość metalu najlepiej ocenia się za pomocą rozgrzanego przyrządu PoDFA w odgazowanym stopie. PoDFA, czyli przyrząd do filtracji z dyskiem porowatym, to metoda oceny czystości stopionego metalu, w której stopiony metal przepływa próżniowo przez filtr ceramiczny. Ilość wtrąceń na kilogram przefiltrowanego materiału oraz ich rodzaj są mierzone metodą metalograficzną i wyrażane w mm²/kg. Wyniki PoDFA zostały nam przedstawione przez różne firmy i wykazały dobre rezultaty. Nasze własne wyniki wykazują średnią 0,4 mm²/kg, co jest wartością zbliżoną do typowej odlewni kół stosującej wlewki pierwotne A356.2 do wytopu. Nie zaobserwowaliśmy żadnych problemów z czystością metalu przy użyciu produktu ecommelt356.2 i nie spodziewamy się, aby jakkolwiek odlewnia wymagała jakichkolwiek zabiegów poza zwykłymi praktykami odlewniczymi polegającymi na odpowiednim filtrowaniu, odgazowywaniu i ewentualnie topnikowaniu (co w naszych testach nie było konieczne, topnikowanie nie poprawiło uzyskanych właściwości - patrz następny rozdział).

TESTY TOPNIKOWANIA

Po zakończeniu serii odgazowywania, stopiono go najpierw topnikiem Promag SI w ilości 0,8 g/kg, a następnie odgazowywano argonem za pomocą odgazowywacza Palmera przez 20 minut. Wytworzono 0,77 kg kożucha żużłowego.

Zawartość magnezu w stopie była prawie niezmienną i wynosiła 0,32% po obróbce stopu (wliczając 4 godziny pracy przy zalewaniu i testowaniu odgazowanych prętów). Stront spadł do 20 ppm po topnikowaniu i odgazowaniu.

Wszystkie odlane w stałej formie, topnikowane i odgazowane pręty poddano obróbce cieplnej wraz z serią odgazowaną i nie poddaną obróbce, a 50 % z nich poddano obróbce HIP. Wyniki rozciągania przedstawione w tabeli 2 nie różnią się istotnie od wyników uzyskanych dla odgazowanego stopu.

Powyższe wyniki wskazują, że stop był już na tyle czysty, że odgazowanie było wystarczające, a topnikowanie nie było konieczne. W odlewniach i zakładach odlewania ciśnieniowego filtrowanie metalu byłoby oczywiście wysoce zalecane.

ASPEKTY EKONOMICZNE I ŚRODOWISKOWE

Stop Eccomelt356.2 jest już stosowany przez niektóre huty do produkcji wlewków ze stopu aluminium A356.2 lub podobnego stopu o wysokiej jakości, które są następnie wykorzystywane przez odlewnie tradycyjne i ciśnieniowe. Ponadto, wiele odlewni, producentów OEM i producentów Tier 1 stosuje bezpośrednio eccomelt356.2, stając się w ten sposób bardziej konkurencyjnymi dzięki niższej cenie i eliminując jeden etap wytopu z dodatkową logistyką, obsługą itp. towarzyszącą temu procesowi. Ta oszczędność kosztów oznacza, że w przypadku niektórych produktów, lżejsza alternatywa w postaci odlewów aluminiowych może mieć sens ekonomiczny dla producentów OEM, umożliwiając im zastąpienie cięższych alternatyw lżejszymi odlewami, co przyczyni się do zmniejszenia masy pojazdów, co jak wiemy ma ogromny wpływ na emisję zanieczyszczeń i zużycie paliwa przez pojazdy. [3] Może to dotyczyć nie tylko odlewów A356, ale także wielu odlewów ciśnieniowych. Niektóre odlewy ciśnieniowe są obecnie wytwarzane z pierwotnych stopów (np. 365 lub A365), które mogłyby być również produkowane przy użyciu stopu eccomelt356.2 - co również miałyby znaczący, pozytywny wpływ na środowisko. [2]. Ponadto, wiele komponentów wykonywanych obecnie metodą odlewania ciśnieniowego (ze stopów wtórnych) mogłoby skorzystać z wyższej jakości i konkurencyjnego materiału wyjściowego, jaki oferuje eccomelt356.2, co mogłoby zaowocować stopami o niższej zawartości Fe i znacznie lepszych właściwościach po konkurencyjnych cenach. Dzięki lepszym właściwościom mechanicznym, komponenty odlewane pod ciśnieniem mogą być teraz przeprojektowane w taki sposób, aby zmniejszyć całkowitą masę pojazdów. Ponadto, elementy odlewane ciśnieniowo o ulepszonych właściwościach można by wykorzystać do zastąpienia cięższego aluminium (np. w odlewach z form stałych o grubszych ściankach lub innych cięższych odlewach metalowych). [4] Wszystko to może znacząco przyczynić się do zmniejszenia masy pojazdów, a tym samym do zmniejszenia zużycia paliwa i emisji spalin.

Jak w przypadku każdego materiału wsadowego, czas ładowania i topienia stopu eccomelt356.2 zależy od typu i układu pieca oraz sposobu ładowania. W większości przypadków różnica w czasie ładowania pomiędzy materiałem eccomelt356.2, a małymi wlewkami, teownikami, będzie niewielka, jeżeli ładowanie będzie przeprowadzone w odpowiedni sposób, np. przy użyciu kompletnych worków (zastępujących teowniki). Czas wytopu zależy od stosunku powierzchni do masy, który jest znacznie większy w porównaniu z wlewkami, a zwłaszcza z teownikami, więc na ogół topienie przebiega szybciej, zwłaszcza gdy wsad jest zanurzony w roztopionym metalu.

Nic dziwnego, że i w tym przypadku istnieją dwie strony medalu: z jednej strony zwiększony stosunek powierzchni do masy daje szybsze topienie, z drugiej zaś strony tworzy więcej tlenków na powierzchni, a więc i więcej kożucha. Jednakże, jeśli chodzi o eccomelt356.2, nasze testy CMQ wykazały, że straty podczas wytopu były niskie i porównywalne do wlewków. Wyniki naszego testu stopu o masie 125kg są następujące:

- pierwsze odławianie kożucha żużlowego dało 0,29kg, czyli 0,5% wsadu
- drugie odławianie kożucha żużlowego po odgazowaniu 2,71kg, czyli 2,17% wsadu.

Łącznie daje to 2,67% strat wsadu w postaci kożucha żużlowego. W przypadku czystych i suchych materiałów wsadowych, takich jak wlewki lub teowniki, strata ta może wynosić 1-2 %. Ogólnie rzecz biorąc, można przyjąć, że stosowanie materiału eccomelt356.2 spowoduje prawdopodobnie powstanie około 1% więcej kożucha żużlowego niż w przypadku wlewków, co łatwo zrekompensować niższą ceną i oszczędnością energii przy wysokim współczynniku wytopu.

Ogólnie rzecz biorąc, straty podczas wytopu/generowanie kożucha żuźlowego zależą od wyposażenia i sposobu obróbki metalu, stosunku powierzchni do masy materiału wsadowego oraz stanu powierzchni materiału wsadowego. [6] W przypadku materiału eccomelt356.2 stan jego powierzchni jest doskonały i wyjątkowo czysty, więc nie przyczynia się on dodatkowo do powstawania strat wytopu/kożucha żuźlowego.

WNIOSKI I DYSKUSJA

Eccomelt356.2 jest metalem, który może umożliwić odlewniom tradycyjnym i ciśnieniowym uzyskanie bardzo dobrej jakości odlewów. Rzeczywiście, osiągnięcie wskaźnika jakości bliskiego 450 MPa w pierwszej próbie (w odlewaniu w stałej formie) jest imponujące.

Celem obecnej kampanii było przebadanie stopu eccomelt356.2 przy minimalnej ilości etapów obróbki zakłócających wytop, aby utrzymać jakość wyjściową stopu niezależnie od warunków przetwarzania. Z tego powodu obróbka stopu polegała wyłącznie na odgazowaniu. Po ustaleniu składu chemicznego stopu nie dodawano magnezu ani strontu. Przeprowadzono jedynie uszlachetnianie chemiczne. W odlewniach, w zależności od wymaganego składu chemicznego i właściwości odlewu, w niektórych przypadkach może być wymagany niewielki dodatek Mg i Sr lub ewentualne rozcieńczenie wlewkami pierwotnymi A356.2 (lub o wyższej czystości). Topnikowanie stopu nie zmieniło wyników rozciągania, co wyraźnie wskazuje, że metal był bardzo czysty.

Stop Eccomelt 356.2 można zakwalifikować jako bardzo realny zamiennik pierwotnego stopu A356.2 w hutach/ przetapialniach, odlewniach tradycyjnych i ciśnieniowych, zarówno sam, jak i zmieszany z wlewkami pierwotnymi i/lub innymi.

Źródła

1) Aluminum Association (USA): Aluminum, the element of sustainability http://www.aluminum.org/sites/default/files/Aluminum_The_Element_of_Sustainability.pdf,

Canadian Aluminum Association: <https://aluminium.ca/en/sustainabledevelopment/recycling>,

IAI (International Aluminium Institute): Global Aluminium Recycling – A Cornerstone of Sustainable Development http://www.worldaluminium.org/media/filer_public/2013/01/15/f10000181.pdf

2) Martin Hartlieb, Ray Donahue: Mercalloy for Structural Diecastings, NADCA Die Congress & Tabletop proceedings, 2013.

3) Doug Richman: Automotive Aluminium – Part of the Solution (Aluminum Association/Automotive Transportation Group), SAE, 2015

4) Ray Donahue, Steve Midson, Jeff Brennen: Reanalyzing Effects of Iron on T5 Mechanical Properties of B360, 367, 362, F380 & 368, NADCA Die Casting Congress & Tabletop proceedings 2013.

5) David Neff, Daniel Grotke: A Guide To Reducing & Treating Aluminum Dross, NADCA Publication 526, 2006

O autorach

Martin Hartlieb jest uznanym ekspertem w dziedzinie aluminium, a w szczególności odlewnictwa tradycyjnego i ciśnieniowego, z ponad 20-letnim doświadczeniem (w tym przez ponad 12 lat na różnych stanowiskach w Alusuisse/Alcan/Rio Tinto). Współpracuje z ośrodkami badawczymi, producentami i recyklerami aluminium i jego stopów, odlewniami, producentami matryc i odlewów ciśnieniowych, producentami sprzętu/technologii odlewniczych i ciśnieniowych, a także producentami OEM i Tier1. Współpracuje również z organizacjami takimi jak NADCA, gdzie jest instruktorem. Ma na swoim koncie długą listę publikacji i jest prelegentem na wielu konferencjach na całym świecie.

Guy Morin jest uznanym ekspertem w dziedzinie odlewnictwa i metalurgii w CMQ. Jego główne obszary działalności i badań to odlewnictwo aluminium, stal, stopy zaawansowane, obróbka stopionego metalu i metalurgia ogólna. Morin przeprowadził wiele projektów badawczych dotyczących oceny jakości aluminium i przygotowania partii. Jego główne doświadczenie w dziedzinie odlewnictwa obejmuje odlewanie metodą wosku traconego i niskociśnieniowe odlewanie aluminium. Jest członkiem komitetu AFS ds. odlewania metodą wosku traconego. opnikowanie + odgazowanie



MAMMUTPolska

crucibles, spare parts, service

**MAMMUT POLSKA ŻUKOWSKI
SPÓŁKA KOMANDYTOWA**



Odlewników 52
39-432 Gorzyce | Polska

NIP

867 224 75 21



mammutpolska.pl

Paweł
ŻUKOWSKI



797 486 990

@ pawel@mammutpolska.pl

Rafał
ŻUKOWSKI



511 350 632

@ rafal@mammutpolska.pl

Katarzyna
ŁOTYSZ



784 141 652

@ katarzyna@mammutpolska.pl

Leszek
KOŁACZ



888 917 083

@ leszek@mammutpolska.pl