

Przedłużanie żywotności łopatek mieszających w betoniarkach

## Badanie zużycia betoniarek planetarnych

Jednym z najważniejszych czynników, jaki należy uwzględnić podczas projektowania i uruchamiania części mechanicznych maszyny w celu uniknięcia ich przedwczesnej wymiany oraz utraty funkcjonalności maszyny, jest zużycie. Na rynku, na którym obserwuje się stały wzrost kosztów materiałów, znalezienie nowych rozwiązań umożliwiających przedłużenie żywotności części mechanicznych staje się kluczowym celem przedsięwzięcia, które chcą być bardziej konkurencyjne. Dlatego firma OMG – Sicoma, we współpracy z Uniwersytetem w Perugii, bada możliwości przedłużenia okresu użytkowania łopatek mieszających, które są najbardziej narażonymi na zużycie częściami betoniarek, analizując różne konfiguracje ich kształtu geometrycznego i ustawienia, zarówno w ramach badań teoretycznych jak i doświadczalnych.

■ M.C. Valigi,

Wydział Inżynierii Przemysłowej (DIIN),  
Uniwersytet w Perugii, Włochy  
I. Gasperini, SICOMA

– Società Italiana Costruzione Macchine, Włochy ■

Trybologia jest stosunkowo nową dziedziną nauki (1967), która zajmuje się badaniami nad tarcim, zużyciem i smarowaniem zespołów ruchomych. Zużycie jest główną przyczyną uszkodzeń i strat wydajności maszyny, więc zminimalizowanie tego zjawiska przyczynia się do znacznych oszczędności. Zużywanie się części mechanicznych stopniowo prowadzi do zmiany morfologii ich powierzchni, więc w krótkim czasie ich funkcjonalność może zostać cał-

kowicie zaburzona, co wiąże się z dużą stratą energii i materiału.

W miarę zużywania się części mechanicznej stopniowo ściera się materiał z jej powierzchni. Koszt związany ze zużyciem pojedynczej maszyny (lub jej części) może być stosunkowo niski, ale gdy to samo zużycie materiału i energii dotyczy kilku maszyn (lub części), koszt ten staje się znaczący. Uproszczony szacunek kosztów i korzyści uzyskanych przez poprawę aspektów trybologicznych można przedstawić w formie „równania trybologicznego”. Równanie to można podsumować następująco [1]:

**Koszty / całkowite oszczędności trybologiczne = suma kosztów / oszczędności dla jednej maszyny (lub części) \* liczba maszyn (części)**

Problemu zużycia nie da się całkowicie wyeliminować, ale poprzez badania materiałów, powłok oraz kształtu geometrycznego poszczególnych części, a także kinematyki i wzajemnych interakcji między częściami i elementami z którymi się stykają, można ograniczyć rozwój tego zjawiska w czasie.

Teorię leżącą u podłoża zjawiska zużycia tworzą znane hipotezy Reye'a [2 - 4], a mianowicie:

**Całkowita praca sił tarcia jest proporcjonalna do objętości startego materiału**

Zgodnie z tą hipotezą można sformułować lokalną zależność proporcjonalną, a także, dysponując wiarygodnymi wynikami doświadczalnymi, opracować i wdrożyć model zużywania się łopatek mieszających w danych warunkach pracy w betoniarce i dla określonej receptury mieszanki betonowej. Firma OMG, wiodący producent betoniarek, rozpoczęła wspólnie z Uniwersytetem w Perugii projekt badawczy, którego celem jest poprawa odporności betoniarek na zużycie (ze szczególnym uwzględnieniem ramion i łopatek mieszających) oraz wyja-

śnienie rozwoju zjawiska zużycia i opracowanie modelu matematycznego, który umożliwiłby wprowadzenie zmian i zoptymalizowanie betoniarek pod kątem odporności na zużycie. Przed wykorzystaniem w produkcji seryjnej, model wymaga przetestowania na prototypach.

W niniejszym artykule przedstawiono „historię” wprowadzonych ulepszeń począwszy od pierwszej modyfikacji betoniarki pod względem położenia łopatek mieszających, w wyniku czego, wskutek przeciwnego przepływu mieszanki, znacznie poprawiła się odporność łopatek na zużycie. Następnie omówiono zależności fizyczne i matematyczne, na podstawie których można stworzyć częściowy model tego procesu i poprzez analizę kinematyczną łopatek mieszających zaprojektować łopatki o innym kształcie geometrycznym zapewniającym dłuższy okres użytkowania.

Wyniki ostatnich badań są bardzo obiecujące, więc stworzono prototypy łopatek o zmodyfikowanym kształcie, które następnie poddano badaniom doświadczalnym. Pozwoliło to na uzyskanie informacji niezbędnych do opracowania modelu matematycznego umożliwiającego przewidywanie zużycia.

### Betoniarki planetarne

Do badań wykorzystano specjalnie przystosowane betoniarki planetarne firmy OMG, które gwarantują homogeniczność mieszanki betonowej i jednorodne badania. Betoniarki wyposażono w łopatki poruszające się po epicykloidzie. Ruch narzędzi mieszających gwarantuje jednorodne wymieszanie wszystkich składników betonu. Istnieją dwa podstawowe typy betoniarek planetarnych – z jedną lub dwiema gwiazdami mieszającymi (rys. 1), które z kolei można podzielić ze względu na wielkość i moc zainstalowanych silników [4].

**Odporność na zużycie ramion mieszadła**  
Bazując na doświadczeniu i komentarzach dotyczących ramion mieszadła, przedsięwzięcie



1: Dwa modele betoniarek planetarnych: (z jedną i dwiema gwiazdami mieszającymi).



2: Ramiona mieszadła w pierwotnej konfiguracji.

wprowadziło pierwsze ulepszenie w kwestii położenia ramion. W pierwotnej konfiguracji oś ramienia była prostopadła do płyty mocującej ramię.

W takim intuicyjnym ustawieniu (rys. 2) właściwości reologiczne mieszanki betonowej przyczyniły się do przedwczesnego zużycia ramion i konieczności częstej wymiany części przez klienta. Bezpośredni kontakt ramion z poruszającą się mieszanką betonową powodował bowiem powstawanie dużej siły tarcia, przez co część szybko stawała się coraz cieńsza.

Znaleziono trzy sposoby na przedłużenie okresu użytkowania ramion:

1. Zmiana kształtu geometrycznego ramienia: wybrano ramie w kształcie litery „S” (rys. 3), z mocowaniem łopatki przesuniętym o ok. 20 cm od pionu.
2. Podniesienie czola łopatki: cofniętą część ramienia osłonięto poprzez wydłużenie czola łopatki o ok. 10 cm, tworząc tarczę ochronną dla ramienia.
3. Kąt nachylenia ramienia w stosunku do przepływu mieszanki: czolo łopatki obrócono o niezbędną liczbę stopni w kierunku przeciwnym do ruchu wskazówek zegara tak, że ramie



3: Ramiona mieszadła w nowej konfiguracji.

niczmy płat uderza w mieszankę betonową, a nie przecina jej frontalnie.

Powyższe zmiany dały zadowalający rezultat, w dużej mierze przyczyniając się do zmniejszenia zużycia ramienia. Pozostała zatem jeszcze kwestia zużywających się łopatek mieszających.

### Poszczególne etapy procedury mieszania

W betoniarkach OMG cement jest dozowany bezpośrednio po załadunku kruszywa, po czym odbywa się proces wstępnego mieszania na sucho, który trwa ok. 20 sekund, a następnie dodaje się wodę poprzez dysze rozmieszczone równomiernie we wnętrzu betoniarki.

Woda i domieszki chemiczne są dozowane jako ostatnie.

Proces mieszania można podzielić na trzy etapy – mieszanie na sucho, dozowanie wody i mieszanie na mokro.

W pierwszym etapie (mieszania na sucho) w betoniarce znajduje się piasek i suchy cement. Następnie, w kolejnym etapie (dozowania wody) zaczyna się proces hydratacji cementu, dla którego bardzo trudno jest stworzyć adekwatny model analityczny. Trzecim etapem jest mieszanie na mokro (tzw. ostateczna faza mieszania), niezbędne do całkowitego ujednoczenia mieszanki betonowej. Dopiero po zakończeniu trzeciego etapu następuje opróżnienie betoniarki [6].

Poszczególne etapy procedury mieszania można przedstawić na wykresie mocy, jaką pobiera betoniarka (rys. 4). Na podstawie tego wykresu można określić czas, po którym konsumpcja energii elektrycznej pozostaje praktycznie stała, co wskazuje na homogeniczność mieszanki.

### Model teoretyczny ostatniego etapu procesu mieszania

Uszkodzenie łopatek mieszających ma charakter mechaniczny (zużycie wywołane ścieraniem i erozją) i chemiczny (korozja), którego nie można pominąć ze względu na prędkość łopatek mieszających w mieszance przekraczającą 3,4 m/s.

W celu przeanalizowania zużycia łopatek skoncentrowano się na badaniu naprężenia stycznego w trakcie mieszania na mokro, gdyż etap ten jest najdłuższy, więc można uznać, że w największym stopniu wpływa na zużycie.

Na etapie mieszania na mokro mieszanka może być postrzegana jako materiał lepkoplastyczny [6 – 11], zwany również cieczą binghamowską, która w przypadku wartości naprężenia stycznego mniejszej niż gra-



■ Prof. inż. Maria Cristino Valigi (1970) jest adiunktem na Wydziale Mechaniki Maszyn Uniwersytetu w Perugii. Jej główne zainteresowania badawcze obejmują modelowanie i symulacje systemów mechanicznych i trybologię.

mc.valigi@unipg.it



■ Inż. Ilaria Gasperini (1978) jest absolwentką inżynierii mechanicznej (2003) na Uniwersytecie w Perugii. Od 2003 r. pracuje w firmie OMG (grupa Sicoma), gdzie zajmuje się projektowaniem i wsparciem technicznym. Ponadto pełni

w firmie rolę konsultantki naukowej współpracując z Wydziałem Inżynierii Przemysłowej Uniwersytetu w Perugii i prowadząc badania dotyczące betoniarek.

Ilaria.Gasperini@sicoma.it

nica plastyczności  $\tau_0$  zachowuje się jak ciało stałe, natomiast w przypadku wartości wyższych – jak ciecz.

$$\tau = \tau_0 + \mu \cdot \gamma \quad (1)$$

(gdzie  $\mu$  – lepkość plastyczna, a  $\gamma$  – gradient prędkości)

Analiza naprężenia stycznego zgodnie z równaniem (1) umożliwia zastosowanie hipotezy Reye'a do analizy pracy sił tarcia wyrażonej pracą siły stycznych wywieranych przez mieszankę na łopatkę mieszającą. Należy przy tym podkreślić, że wspomniane siły, w funkcji prędkości, są uzależnione od kształtu geometrycznego łopatki, a w szczególności jej nachylenia i w konsekwencji wektora normalnego płaszczyzny zawierającej łopatkę.

Nachylenie łopatki wpływa na moduł siły lepkości. Siła lepkości ( $F_v$ ) i tarcia ( $F_f$ ) determinują pobór mocy w trakcie mieszania na mokro.

Można sformułować następującą zależność [7]:

$$F_f = -(\tau_f \cdot d) L \quad F_v = -S \mu \cdot n v$$

gdzie  $L$  – typowa wielkość łopatki,  $\tau_f$  – naprężenie styczne wywołane tarcie podczas kontaktu łopatki z naczyniem (w rzeczywistości kontakt ten nie jest bezpośredni, lecz poprzez przeciekającą mieszankę),  $d$  – grubość łopatki,  $S$  – współczynnik lepkości,  $n$  – wektor normalny płaszczyzny zawierającej łopatkę, a  $v$  – prędkość łopatki.

### Propozycja nowych łopatek i perspektywy

Ponieważ zużycie łopatki jest największe po stronie zewnętrznej pracującej z większą prędkością, poprzez zmianę kształtu geometrycznego łopatki tak, by zmniejszyć prędkość obwodową, można zmniejszyć



4: Pobór mocy w ramach poszczególnych etapów procedury mieszania.  
 (1 – dozowanie składników, 2 – mieszanie na sucho, 3 – dozowanie wody, 4 – początek opróżniania betoniarki, 5 – koniec opróżniania).

wartość siły lepkości i naprężenia stycznego, w wyniku czego powierzchnia łopatki jest mniej obciążona, co wydłuża jej okres użytkowania. Uwzględniając powyższą zmianę naprężenia stycznego zaprojektowano nową łopatkę, której część czołowa (wystająca poza linię centralną) jest nachylona pod większym kątem niż dotychczas. Bazując na wcześniejszym założeniu przeprowadzono analizę kinematyczną w celu porównania prędkości wybranych punktów dotychczasowej łopatki z odpowiednimi punktami na łopatkę prototypowej (rys. 5).

Wyniki potwierdzają zmniejszoną prędkość w obszarze najbardziej narażonym na ścieranie, co oznacza zmniejszone naprężenie styczne działające na łopatkę o ok. 30%.

Firma zdecydowała się przeprowadzić serię badań doświadczalnych w celu opracowania i sprzedaży nowych łopatek, bardziej odpornych na zużycie niż dotychczasowe. Ponadto dane zebrane w ramach badań pokazują, że nowe łopatki umożliwiają szybsze opróżnienie betoniarki (w czasie poniżej 4 s).

W najbliższej przyszłości autorzy, przy wsparciu grupy OMG, opracują udoskonalony model matematyczny i przeprowadzą kolejną serię badań z wykorzystaniem najnowszego materiału do powlekania łopatek w celu dalszej optymalizacji już i tak doskonale sprawdzającego się prototypu.

## ■ Bibliografia

- [1] Gwidon W. Stachowiak and Andrew W. Batchelor „Engineering tribology” Butterworth-Heinemann, Boston, 2001.
- [2] E.Funaioli, A.Maggiore, U.Meneghetti „Lezioni di meccanica applicata alle macchine vol.1-Fondamenti di meccanica delle macchine”, Ed. Patron, Bologna, 2005.
- [3] N.P.Belfiore, A.Di Benedetto, E.Pennestri „Fondamenti di meccanica applicata alle macchine” Casa editrice Ambrosiana, Rozzano, 2011.
- [4] E.Ciulli „Elementi di meccanica”, Ed. Plus, Pisa, 2003.
- [5] M.C. Valigi, I.Gasperini „Planetary vertical concrete mixers: Simulation and predicting useful life in steady states and in perturbed conditions” Simulation modeling Practice and Theory. 15 (2007) 1211-1223.
- [6] C.Braccisi, L.Landi „An analytical model for force estimation on arms of concrete mixers” Proceedings of the ASME 2009 International DETEC/CIE, 2009, San Diego, California, USA.
- [7] B.Cazacliu, J.Legrandb „Characterization of the granular-to-fluid state process during mixing by power evolution in a planetary concrete mixer”, Chemical Engineering Science 63,(2008), 4617-4630.
- [8] B.Cazacliu, N.Roquet „Concrete mixing kinetics by means of power measurement” Cement and Concrete Reserch 39, (2009) 182-194.
- [9] B.Cazacliu „In-mixer measurement to describe the mixture kinetics during concrete mixing” Proceedings of sixty International on Mixing in Industrial Process Industries, I SMIP VI , 2008, Niagara on the Lake, Niagara Falls, Ontario, Canada.

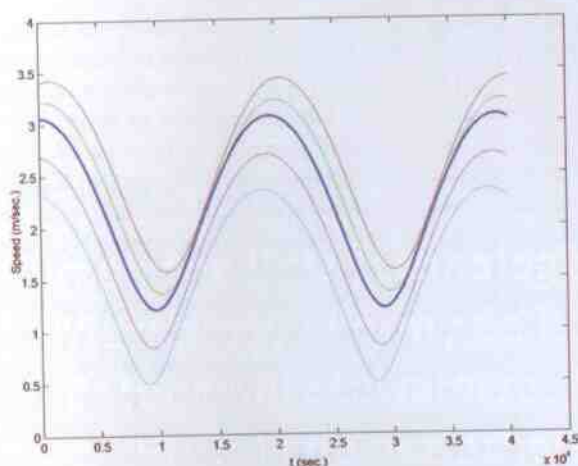
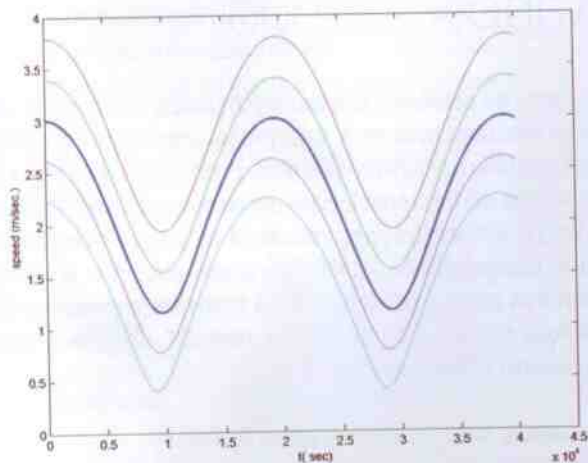
# Concrete Pen

Utility model registered by  worldwide



[www.concretepenfactory.com](http://www.concretepenfactory.com)

- [10] B.Cazacliu „In-mixer measurement for describing the mixture evolution during concrete mixing” *Chemical Engineering Research and Design* 86, (2008), 1423-1433
- [11] A.Goldszal, J.Bousquet „Wet agglomeration of powders: from physics toward process optimization.” *Powder Technology* 117, (2001) 221-231.
- [12] M.C.Valigi, I.Gasperini „A preliminary examination of blades wear in a planetary concrete mixer” *XX Congresso AIMETA*, September 2011, Bologna.



5: Prędkość w różnych punktach łopatki: łopatka dotychczasowa (u góry) i prototypowa (u dołu).

# NASZE MIESZALNIKI TWÓJ NAJLEPSZY WYBÓR

LIDER W TECHNOLOGII MIESZANIA;  
SZYBKO, JEDNORODNIE, NIEZAWODNIE.  
DOCENIANY NA CAŁYM ŚWIECIE

MIESZALNIKI PLANETARNE  
O WYDAJNOŚCI ZARÓBU  
DO 4 m<sup>3</sup>



MIESZALNIKI DWUWAŁOWE  
O WYDAJNOŚCI ZARÓBU  
DO 8 m<sup>3</sup>

MIESZALNIKI TURBINOWE  
O WYDAJNOŚCI ZARÓBU  
DO 3,5 m<sup>3</sup>



BOGATY WYBÓR AKCESORIÓW

WIĘCEJ INFORMACJI



S.I.CO.MA. s.r.l.  
Via Brenta, 18  
06135 Ponte Valleggepi, Perugia - Włochy  
T +39 075 592 8120 · F +39 075 592 8371  
sicoma@sicoma.it · www.sicoma.it



S.I.CO.MA. s.r.l.  
Via Brenta, 3 - 06135 Ponte Valleggepi Perugia - Italy  
Phone +39 075 592.81.20 Fax +39 075 592.83.71  
sicoma@sicoma.it

www.sicoma.it