

Andrzej N. WIECZOREK

BADANIA WPLYWU OBRÓBKI CIEPLNEJ NA WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE ŻELIWI ADI ZAWIERAJĄCYCH Ni, Mn, Mo, Cu W ASPEKCIE ICH ZASTOSOWANIA NA KOŁA ŁAŃCUCHOWE PRZENOŚNIKÓW ZGRZEBŁOWYCH

W pracy przedstawiono rezultaty badań wpływu temperatury hartowania izotermicznego na właściwości mechaniczne 4 rodzajów stopowych żeliwi ADI zawierających Ni, Mn, Mo i Cu. W pracy, na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że wraz ze zwiększeniem temperatury hartowania izotermicznego zmniejsza się wytrzymałość mechaniczna odlewów i twardość powierzchni. Zależność ta wynika najprawdopodobniej ze wzrostu zawartości wysokowęglowego austenitu wraz ze zwiększeniem temperatury ausferytyzacji. Zaobserwowano także, że wraz ze zwiększeniem udziału austenitu dochodzi do zwiększenia właściwości plastycznych badanych odlewów. Wyznaczone dla żeliwi ADI wartości parametrów wytrzymałościowych są zbliżone lub przewyższają wartości materiałów dotychczas stosowanych na koła łańcuchowe przenośników zgrzebłowych. Z uwagi na wysoką odporność na zużycie ściernie, żeliwa ausferytyczne mogą być materiałem zapewniającym zwiększenie trwałości eksploatacyjnej elementów napędowych przenośników.

WSTĘP

Obecnie szereg branż przemysłowych, szczególnie związanych z energetyką i wydobywaniem kopalin, wykorzystuje urządzenia zagrożone zniszczeniem na skutek zużycia ściernego [1]. Problematyka ta jest szczególnie istotna z uwagi na zrównoważony rozwój przemysłu, zakładający poszanowanie energii i zasobów naturalnych [2]. Duże oczekiwania przedsiębiorstwa wiążą z zastosowaniem żeliwi ADI, które wykazują szereg zalet [3,4] w porównaniu z utwardzonymi powierzchniowo stalami stopowymi. Jednym z najważniejszych czynników predestynujących te tworzywa do pracy w trudnych warunkach eksploatacyjnych jest to, że żeliwa ADI wykazują odporność na zużycie prawie w całym przekroju odlewu.

Korzystne właściwości użytkowe żeliwa sferoidalnego ausferytycznego są obserwowane po odpowiednio przeprowadzonej obróbce cieplnej, złożonej z zabiegów austenitowania i hartowania izotermicznego. Warunki procesu austenitowania decydują o zawartości węgla w austenicie, natomiast parametry „okna procesowego” przemiany izotermicznej kształtują ostatecznie mikrostrukturę ausferytyczną złożoną z ferrytu bainitycznego i austenitu. Kombinacja parametrów temperatury przemiany izotermicznej i czasu trwania procesu ma istotne znaczenie dyfuzję węgla do austenitu i jego dalsze stabilizowanie.

Cechą charakterystyczną żeliwi ADI jest ich zdolność do umocnienia na wskutek zachodzącej przemiany fazowej austenitu w martenzyt odkształceniowy spowodowanej wzrostem naprężenia lub odkształceniem [5]. Szereg autorów, między innymi Hayrynen i inni [2,3], Schissler i inni [6], Owhadi i inni [7], Myszkowski i Wieczorek [8,9] potwierdziło korzystny wpływ przemiany fazowej na właściwości zużyciowe żeliwi ADI. Żeliwa ADI są stosowane jako materiały na urządzenia pracujące w trudnych warunkach eksploatacyjnych, jednakże ich rozpowszechnienie nie jest zbyt duże. Powodem może być złożona technologia wytwarzania tych tworzyw, charakteryzująca się koniecznością ustalenia znacznej ilości parametrów wpływających na właściwości użytkowe.

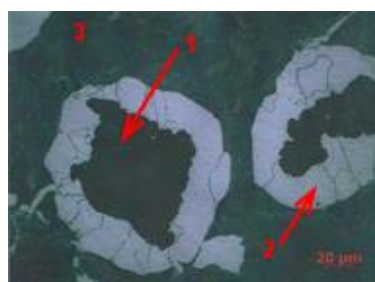
1. CHARAKTERYSTYKA OBIEKTU BADAŃ

W badaniach wpływu temperatury hartowania izotermicznego na właściwości mechaniczne stopowych żeliwi ADI wykorzystano jako materiał wyjściowy do wytworzenia ADI żeliwo sferoidalne EN-GJS-600-3 (PN-EN 1563) o składzie chemicznym przedstawionym w Tabeli 1.

Tab. 1. Skład chemiczny wyjściowego żeliwa sferoidalnego [%]

	C	Si	Mn	S	P
ADI	3,50	2,54	0,16	0,013	0,041
	Mg	Cr	Cu	Ni	Mo
	0,047	0,026	0,50	1,40	0,24

Odlewy z żeliwa sferoidalnego posiadały strukturę perlityczno-ferrytyczną (Rys. 1), grafit występował w postaci kulek o sferoidyzacji 90% i ilości 200/mm². Odlewy w postaci klinów Y z żeliwa sferoidalnego, po przeprowadzeniu koniecznych operacji czyszczenia i obróbki skrawaniem, poddano obróbce cieplnej w celu uzyskania typowej dla ADI struktury ausferytycznej. Parametry procesów austenitacji i hartowania izotermicznego dobrano na podstawie wcześniej przeprowadzonych badań [3,4]. Zestawienie parametrów procesowych przedstawia Tabela 2.



Rys. 1. Struktura żeliwa sferoidalnego (OM, powiększenie x500); oznaczenia: 1 – grafit, 2 – ferryt, 3 – perlit

Tab. 2. Zestawienie parametrów procesowych użytych do wytworzenia 4 wariantów żeliwa ADI

Parametry obróbki cieplnej	ADI_240	ADI_270	ADI_310	ADI_360
Temperatura austenizacji, °C	950			
Czas austenizacji, min	180			
Temperatura hartowania izotermicznego, °C	240	270	310	360
Czas hartowania izotermicznego, min	150			

Zasadniczy proces, dzięki któremu wytworzono 4 rodzaje ausferytycznych żeliw sferoidalnych – hartowanie izotermiczne – odbywał się przez 150 min w kąpeli solnej w 4 temperaturach: 240°C, 270°C, 310°C, 360°C. Pozwoliło to uzyskać odlewy o zróżnicowanych właściwościach mechanicznych. Po zakończeniu procesu ausferytyzacji, odlewy były chłodzone w wodzie, w celu usunięcia warstwy soli.

Na Rys. 2A przedstawiono mikrostrukturę żeliwa ADI hartowanego izotermicznie w temperaturze 360 °C (ADI_360). W strukturze można wyróżnić grafit kulkowy i ausferyt górny złożony z ferrytu bainitycznego i stabilnego austenitu. Całkowitą ilość austenitu oszacowano na 40%. Rys. 2B przedstawia mikrostrukturę żeliwa oznaczonego jako ADI_310. Jego struktura złożona jest również z grafitu i ausferytu górnego, z tym że udział austenitu wynosi 27%. Strukturę żeliw ADI_270 (Rys. 2C) i Fig_240 (Rys. 2D) stanowi grafit kulkowy i ausferyt dolny, który złożony jest z ferrytu, śladowych ilości martenzytu oraz niskowęglowego austenitu, którego zawartość wynosiła odpowiednio 20% i 12%.

2. WYNIKI BADAŃ

Uzyskane wyniki pomiarów właściwości mechanicznych zestawiono w tablicy 3, natomiast na rysunkach 3A, 3B i 3C zilustrowano przebiegi zmierzonych wartości w funkcji temperatury ausferytyzacji.

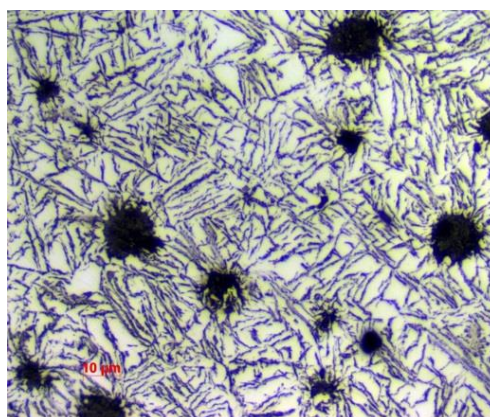
Tab. 3 Właściwości mechaniczne badanych żeliw ADI

Właściwości mechaniczne	ADI_240	ADI_270	ADI_310	ADI_360
Wytrzymałość maksymalna Rm, MPa	1507	1372	1132	1028
Granica plastyczności Re, MPa	1072	936	804	652
Udarowość K, J	54	72	84	124
Wydłużenie A5, %	3	4	5	10
Twardość H, HB	415	388	331	283

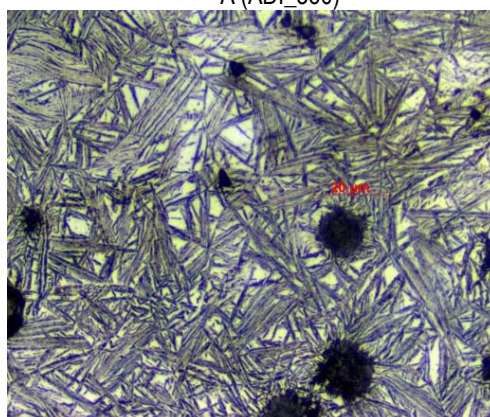
Na rysunku 3A można zauważyć, że wraz ze zwiększeniem temperatury hartowania izotermicznego zmniejsza się wytrzymałość Re i Rm żeliw ADI. Zależność ta wynika najprawdopodobniej ze wzrostu zawartości wysokowęglowego austenitu wraz ze zwiększeniem temperatury ausferytyzacji. Podobną zależność przedstawia Rys. 3B, na którym można zauważyć zmniejszenie twardości dla wyższych temperatur procesu ausferytyzacji. W tym przypadku również austenit szczątkowy wpływa na zmniejszenie twardości.

Wzrost udziału austenitu wpływa z kolei na zwiększenie (Rys. 3C) właściwości plastycznych badanych odlewów scharakteryzowanych parametrami: udarnością K i wydłużeniem A5. Zmniejszenie wytrzymałości mechanicznej i twardości oraz jednocześnie zwiększenie

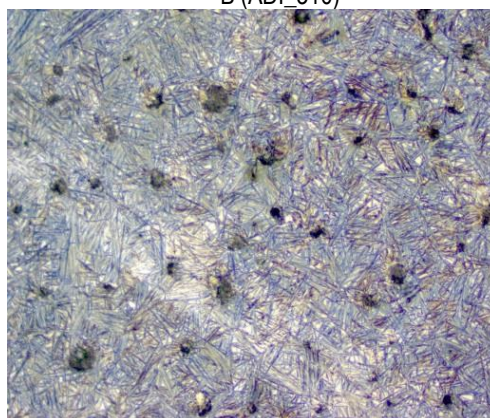
plastyczności żeliwa ADI spowodowane wzrostem zawartości austenitu stwierdzili także Guzik [12], Dymski [13] i Dziadur [14].



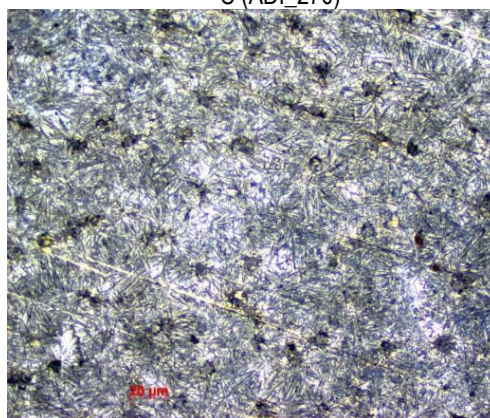
A (ADI_360)



B (ADI_310)

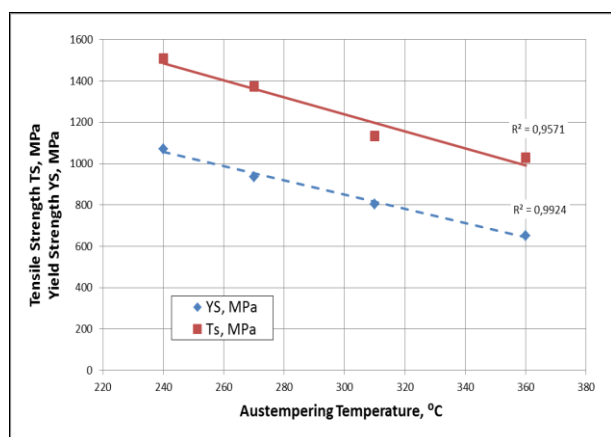


C (ADI_270)

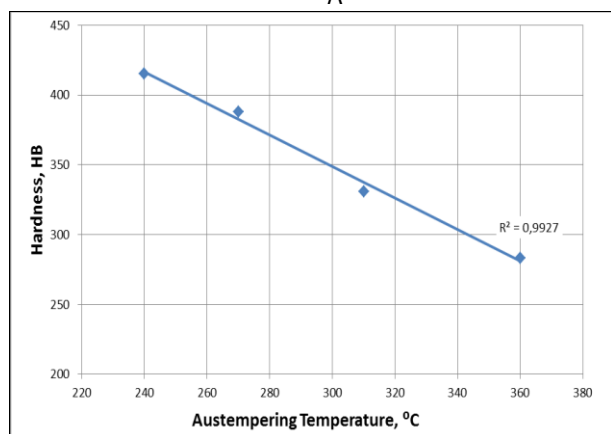


D (ADI_240)

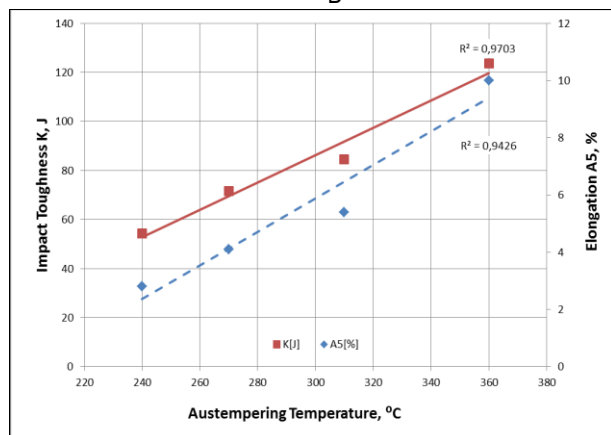
Rys. 2 Mikrostruktura badanych żeliw ADI; A - ADI_360, B - ADI_310, C - ADI_270, D - ADI_240



A



B



C

Rys. 3 Przebiegi parametrów mechanicznych w funkcji temperatury ausferytacji badanych żeliw ADI; A - wytrzymałości maksymalnej i granicy plastyczności, B - twardości HB, C - udarności K i wydłużenia A5.

PODSUMOWANIE

W pracy, na podstawie przeprowadzonych pomiarów stwierdzono, że wraz ze zwiększeniem temperatury hartowania izotermicznego zmniejsza się wytrzymałość mechaniczna i twardość powierzchni odlewów z żeliwa sferoidalnego ausferytycznego zawierającego Ni, Cu, Mo i Ni. Zależność ta wynika najprawdopodobniej ze wzrostu zawartości wysokowęglowego austenitu wraz ze zwiększeniem temperatury ausferytacji. Zaobserwowano także, że wraz ze zwiększeniem udziału austenitu dochodzi do zwiększenia właściwości plastycznych badanych odlewów.

Wyznaczone dla żeliw ADI wartości parametrów wytrzymałościowych są zbliżone lub przewyższają wartości materiałów dotych-

czas stosowanych na koła łańcuchowe przenośników zgrzeblowych. Z uwagi na wysoką odporność na zużycie ścierne, żeliwa ausferytyczne mogą być materiałem zapewniającym zwiększenie trwałości eksploatacyjnej elementów napędowych przenośników.

BIBLIOGRAFIA

- Burdzik R., Fołęga P., Łazarz B., Stanik Z., Warczek J., Analysis of the impact of surface layer parameters on wear intensity of frictional couples, Archives of Metallurgy and Materials 57(4), 2012, 987-993.
- Wieczorek A.N.: Designing machinery and equipment in accordance with the principle of sustainable development. Management Systems in Production Engineering No 1(17), s. 28-34, 2015.
- Hayrynen K.L., Keough J.R.: Wear Properties of Austempered Ductile Cast Irons, AFS Transactions, No. 187, 2005, 1-10.
- Hayrynen K.L., Keough J.R., Pioszak G. L.: Designing with Austempered Ductile Iron, AFS Transactions, 2010, 1-15.
- Aranzabal J., Guitierrez I., Rodriguez-Ibabe J.M., Urcola, J.J.: Influence of the amount and morphology of retained austenite on the mechanical properties of an austempered ductile iron, Metallurgical and Materials Transactions A, 1997, vol. 28A, 1143-1156.
- Schissler J.M., Brenot P., Chobaut J.P.: Abrasive Wear Resistance of Austempered Ductile Iron at Room Temperature, Mater. Sci. Tech., No. 5, 1987, 71-77.
- Owhadi A., Hedjazi J., Davami P.: „Wear Behavior of 1.5Mn Austempered Ductile Iron”, Mater. Sci. Tech., No. 14, 1998, pp. 245-250.
- Myszka D., Wieczorek A.N., An assessment of the applicability of austempered ductile iron containing Mo and Ni for mining machines parts, Archives of Metallurgy and Materials, 2013, vol. 58/3, 967-970.
- Myszka D., Wieczorek A.N.: Studying the effect of wear caused by corundum abrasive material on the properties and microstructure of austempered ductile iron with additions of Cu and Ni, Inżynieria Materiałowa, 2013, 4/194, 332-335.
- Wieczorek A.N.: Eksploatacyjnie zorientowana metoda badania zużycia bębnow łańcuchowych przenośników zgrzeblowych. TEMAG 2014. XXII Międzynarodowa konferencja naukowo-techniczna, Ustroń, 22-24 października 2014. Biblioteka TEMAG; vol. 22, 2013, s. 277-285.
- Wieczorek A.N., Polis W.: Operation-oriented method for testing the abrasive wear of mining chain wheels in the conditions of the combined action of destructive factors. Management Systems in Production Engineering No 3(19), s. 175-178, 2015.
- Guzik E. Procesy uszlachetniania żeliwa. Wybrane zagadnienia. Archiwum Odlewnictwa. Monografia 1M, 2001.
- Dymski S., Trepczyńska-Łent M., Ławrynowicz Z. „Badania wpływu temperatury hartowania na udział austenitu w osnowie żeliwa ADI”. Archiwum Odlewnictwa 6, Nr 21, 2006, s. 125-134.
- Dziadur W. „Wpływ ilości i morfologii austenitu nieprzemienionego na własności mechaniczne sferoidalnego żeliwa o osnowie bainitycznej (ADI)”. Materiały Konferencyjne 11th International Scientific Conference Achievements in Mechanical & Materials Engineering, p. 179-182.

Studies on the impact of heat treatment on mechanical properties of ADIs containing Ni, Mn, Mo, Cu in terms of their use in chain wheels for armoured face conveyors

The paper presents results of the studies on the impact of the austempering temperature on mechanical properties of ADIs containing Ni, Mn, Mo, Cu. Based on the measurements, it has been found that along with an increase in the austempering temperature the mechanical strength of castings and the hardness of the surface decrease. This dependence probably results from an increase in the content of high-carbon austenite along with an increase in the austempering temperature. It has also been observed that along with an increase in the content of austenite the plastic properties of the castings tested also increases. The values of the strength

parameters determined for the ADIs are similar to the values characterizing the materials used so far in chain wheels for armoured face conveyors or exceed them. Due to their high resistance to abrasive wear, austempered cast irons can be a used as a material that ensures a longer service life of drive components in conveyors.

Praca zrealizowana w ramach projektu „Innowacyjna technologia produkcji elementów ciągnowych systemów transportowych wykorzystująca materiały lane” nr POIG.01.04.00-24-100/11.

Autor:

dr inż. **Andrzej N. Wieczorek** – Politechnika Śląska w Gliwicach, Wydział Górnictwa i Geologii, Instytut Mechanizacji Górnictwa, andrzej.n.wieczorek@polsl.pl.