

Вплив віброобробки та модифікування на властивості виливків із сплаву системи Al–Si, що твердіють в кокілі

V. Yu. Selivorstov /Dr. Sci. (Tech.),
Yu. V. Dotsenko /Cand. Sci. (Tech.),
N. V. DotsenkoNational Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine
e-mail: S-V-Y@yandex.ru

The action of vibration processing and modification on properties castings from alloys of Al–Si hardening in chill

Мета. Дослідження механічних властивостей і макроструктури металу виливків із сплаву АК7, отриманих з використанням модифікування і віброобробки з частотою 100–200 Гц у процесі затвердіння, та за традиційною технологією лиття в кокілі.

Методика. Механічні властивості матеріалу виливків визначали відповідно до ГОСТ 1497-84 на універсальній дослідній машині «ІНСТРОН», на стандартних зразках, вирізаних із циліндричних виливків. Вимірювання твердості зразків у вихідному стані та після вібраційного впливу на розплав визначали за стандартною методикою Бринелля. Дослідження щільності алюмінієвого сплаву визначали методом гідростатичного зважування з точністю 0,001 г/см³.

Результати. У статті наведено результати промислових випробувань технології віброобробки з частотою 100–200 Гц та модифікування розплаву ультрадисперсним модифікатором при виробництві циліндричних заготовок із сплаву АК7 способом лиття в кокілі. Визначено механічні властивості литого металу, одержаного із застосуванням різних видів обробки, а також металу виливків, що отримані за традиційною технологією.

Наукова новизна. Досліджено вплив низькочастотної вібрації в процесі затвердіння та модифікування на макроструктуру виливків. Виявлено зв'язок між наявністю ліквіаційних явищ та режимами віброобробки. Отримані дані показали перспективність проведення подальших досліджень з метою розробки та удосконалення відповідних технологічних процесів.

Практична значущість. Встановлено, що найменша кількість дефектів та найбільш сприятлива макроструктура виливків спостерігається при використанні комплексної технології, що включає віброобробку з частотою 100 Гц та модифікування, а також при застосуванні тільки модифікування. (Іл. 3. Табл. 3. Бібліогр.: 12 назв.)

Ключові слова: лиття в кокілі, вібраційний вплив, модифікування, виливок, технологія, зразок, механічні властивості, макроструктура.

Постановка проблеми. Відомо, що використання активних методів зовнішніх фізичних впливів та управління структуроутворенням забезпечує не тільки значне зниження браку виливків, але й підвищення механічних властивостей литого металу, зокрема при литті в кокілі. До таких активних методів, в тому числі, можна віднести низькочастотний вібраційний вплив на твердіючий в ливарній формі розплав та традиційне модифікування. Тому однією з актуальних проблем є отримання науково обґрунтованих результатів, що дозволяють здійснити удосконалення існуючих, а також розробку нових ефективних і комбінованих

технологічних процесів отримання якісних литих заготовок.

Аналіз попередніх публікацій. Низькочастотна вібрація, що використовується на практиці, характеризується частотою до 200 Гц та амплітудами, що не перевищують 2–3 мм [1; 2]. Оскільки амплітуди, що використовують, перевищують величину контактних зазорів, при низькочастотній вібрації можливе використання різних схем введення пружних коливань: як крізь дно та стінки ливарної форми, так і безпосередньо в розплав. Наявність у металі, що кристалізується, хвиль стискання та розтягування може призводити до розвитку газової кавітації,

чим пояснюється інтенсивна дегазація металу та поліпшення макроструктури виливків [2; 3].

Аналіз даних літературних джерел щодо використання газодинамічного впливу та модифікування при литті в кокіль алюмінієвих сплавів показав доцільність розгляду питання розробки диверсифікованих технологічних процесів із застосуванням різних видів комбінованих впливів на розплав у процесі формування виливків [4–12]. Проте для визначення ефективності комбінованої обробки сплаву низькочастотною вібрацією та модифікуванням необхідне дослідження значної кількості фізико-технологічних параметрів литого металу, до числа яких можна віднести, в тому числі, механічні властивості та макроструктуру. Тому актуальним завданням є проведення експериментальних досліджень зазначених параметрів металу виливків, отриманих безпосередньо в промислових умовах із застосуванням традиційної та комбінованої технологій.

Мета роботи – дослідження механічних властивостей і макроструктури металу виливків із сплаву АК7, отриманих з використанням модифікування і віброобробки з частотою 100–200 Гц у процесі затвердіння, та за традиційною технологією лиття в кокіль.

Виклад основного матеріалу. В умовах ливарного цеху ПАТ «Дніпропетровський агрегатний завод» проводили плавку сплаву марки АК7 (табл. 1) в печі САТ-04. Заливку здійснювали ківш-ложкою в сталевий витряхний кокіль середнім діаметром 60 мм з товщиною стінки 5 мм та висотою робочої порожнини 150 мм. Внутрішню поверхню кокілю, підігріту до температури 380–400 °С, покривали ливарною фарбою на основі дистен-силіманіту. Температура випуску – 720 ± 5°С. Підігрітий кокіль встановлювали та закріплювали на вібраційній установці (рис. 1).

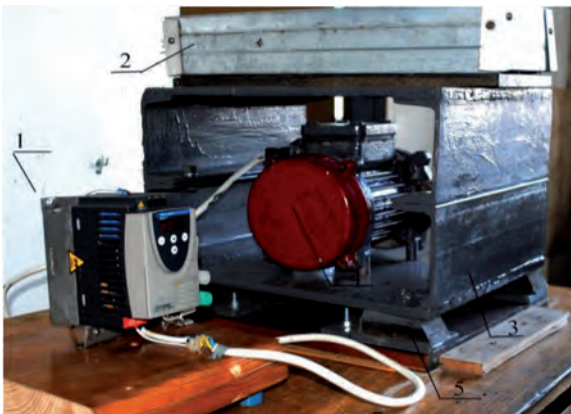


Рис. 1. Загальний вигляд вібраційної установки: 1 – перетворювач частоти; 2 – місце для кокілю; 3 – корпус; 4 – двигун; 5 – вібраційні опори

Хімічний склад сплаву

Марка сплаву	Вміст елементів, %						
	Mg	Cu	Si	Al	Fe	Zn	Ni
АК7	0,39	0,05	8,35	Осн.	0,48	0,03	0,01

Заливку металу в кокіль здійснювали при увімкненій вібраційній установці при частоті коливань 100 Гц, 150, 200 Гц та амплітуді 0,7 мм. При цих частотах заливали немодифікований розплав та розплав з додаванням 0,1 мас. % препарату «Turphoon-Z». Окремо здійснювали заливку немодифікованого розплаву та розплаву з модифікатором у кокіль без застосування вібраційної обробки.

Механічні властивості матеріалу виливків визначали відповідно до ГОСТ 1497-84 на універсальній дослідній машині «ІНСТРОН», на стандартних зразках, вирізаних із циліндричних виливків: № 1, 2, 3 – що отримані із застосуванням вібраційного впливу; № 4, 5, 6 – що отримані із застосуванням модифікування та комплексної обробки (табл. 2). Вимірювання твердості зразків у вихідному стані та після вібраційного впливу на розплав визначали за стандартною методикою Брінелля.

Дослідження щільності алюмінієвого сплаву визначали методом гідростатичного зважування з точністю 0,001 г/см³. Зразок, який не містить тріщин і порожнин, зважували на аналітичних вагах на повітрі та в чотирихлористому вуглеці. Щільність зразка розраховували за формулою:

$$d_{обр} = \frac{P_{\beta}}{P_{\beta} - P_{\alpha}} \cdot (d_{\alpha} - 0,0012) + 0,0012, \quad (1)$$

де $d_{обр}$ – щільність зразка, г/см³; P_{β} – маса зразка в повітрі, г; P_{α} – маса зразка в СС1₄, г; d_{α} – щільність СС1₄, г/см³.

Результати досліджень щодо визначення щільності металу дослідних виливків наведені в табл. 3.

Механічні властивості металу, що піддавався віброобробці з частотою 200 Гц, не вдалося повністю встановити з причини неможливості отримати якісні зразки через наявність грубих дефектів у вигляді раковин та шпаристості в тілі виливка.

Наведені в табл. 2 дані свідчать про те, що найбільше значення середньої межі міцності спостерігається у металу першого, другого та шостого виливків (відповідно 175 МПа, 171 та 166 МПа). Найбільші значення відносного подовження наявні у першого та шостого виливків (4,55 та 2,12 % відповідно). Проте великий розбіг значень (майже в три рази) відносного подовження у зразків першого виливка може свідчи-

Механічні властивості металу виливків

№ вилівка	Вид обробки	Частота, Гц	№ зразка	$\sigma_{0,2}$	σ_b	δ_s	Ψ	Твердість, НВ
				МПа (Н/мм ²)		%		
1	Вібрація	100	1.1	109	183	6,8	2,5	680
			1.2	115	165	2,3	1,7	670
			1.3	118	177	-	-	660
2	Вібрація	150	2.1	-	166	0,97	5,02	640
			2.2	111	176	1,3	1,7	660
			2.3	113	171	1,47	3,31	700
3	Вібрація	200	3.1	-	-	-	-	660
			3.2	-	-	-	-	630
			3.3	-	-	-	-	650
4	Вібрація + модифікування	100	4.1	117	161	0,91	1,7	620
			4.2	119	142	2,17	0,35	620
			4.3	115	172	1,47	4,4	700
5	Вібрація + модифікування	150	5.1	115	143	1,9	-	580
			5.2	109	143	2,17	2,36	400
			5.3	108	160	1,73	4,67	580
6	Модифікування	-	6.1	113	158	2,2	5,99	520
			6.2	109	180	2	3,49	530
			6.3	117	162	2,17	2,66	500

Таблиця 3

Щільність металу виливків

№ зразка	Обробка	Частота, Гц	Щільність зразків, г/см ³	
1	Без обробки	-	2,744	2,752
2	Без обробки	-	2,739	
3	Без обробки	-	2,773	
1.1	Вібрація	100	2,739	2,733
1.2	Вібрація	100	2,731	
1.3	Вібрація	100	2,729	
2.1	Вібрація	150	2,757	2,786
2.2	Вібрація	150	2,852	
2.3	Вібрація	150	2,750	
3.1	Вібрація	200	2,760	2,784
3.2	Вібрація	200	2,785	
3.3	Вібрація	200	2,808	
4.1	Вібрація + модифікування	100	2,806	2,768
4.2	Вібрація + модифікування	100	2,749	
4.3	Вібрація + модифікування	100	2,749	
5.1	Вібрація + модифікування	150	2,732	2,734
5.2	Вібрація + модифікування	150	2,734	
5.3	Вібрація + модифікування	150	2,736	
6.1	Модифікування	-	2,737	2,736
6.2	Модифікування	-	2,736	
6.3	Модифікування	-	2,736	

ти про наявність у цьому виливку ліквацийних явищ.

Результати визначення щільності зразків металу дослідних виливків показали значний розбіг значень від 2,729 до 2,852 г/см³. Окрім того,

найбільші діапазони коливань значень щільності спостерігаються у зразках металу, що піддавався віброобробці. Наприклад, при частоті 150 Гц без застосування модифікування щільність сплаву коливається в межах 2,750–2,852 г/см³ (різниця

ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

3,5 %), без обробки – 2,739–2,773 г/см³ (1,2 %), із застосуванням тільки модифікування – 2,736–2,737 г/см³ (0,04 %).

Наведені в табл. 3 дані свідчать про наявність ліквідаційних зон у виливках, що піддавалися віброобробці, та отриманих за традиційною технологією лиття в кокіль. Це підтверджується результатами досліджень щільності металу зразків, що містили таку зону або її частину.

Проведені дослідження показали підвищення усередненої щільності металу виливків, що піддавалися віброобробці разом з модифікуванням, на 1,2 % відносно металу виливків, отриманих за традиційною технологією.

Макроструктура дослідних виливків наведена на рис. 2, 3. У результаті вібраційної обробки сплаву АК7 з частотою 200 Гц у надливній частині виливка утворилися грубі дефекти у вигляді порожнин різного об'єму та розосередженої шпаристості, що розповсюджується також у тіло виливка.

Макроструктура виливка, що піддавався віброобробці з частотою 150 Гц, включає концентровану усадкову раковину правильної форми глибиною 18 мм з наявними багатьма тріщинами довжиною 3–10 мм на бічній поверхні раковини за відсутності розосередженої шпаристості.

Макроструктура виливка, що піддавався віброобробці з частотою 100 Гц, включає концентровану усадкову раковину правильної форми глибиною 13 мм з поодинокими тріщинами довжиною 2–8 мм на бічній поверхні раковини за відсутності розосередженої шпаристості.

Макроструктура металу виливка, що піддавався тільки модифікуванню, також включає кон-

центровану усадкову раковину правильної форми глибиною 10 мм з гладкою бічною поверхнею за відсутності розосередженої шпаристості.

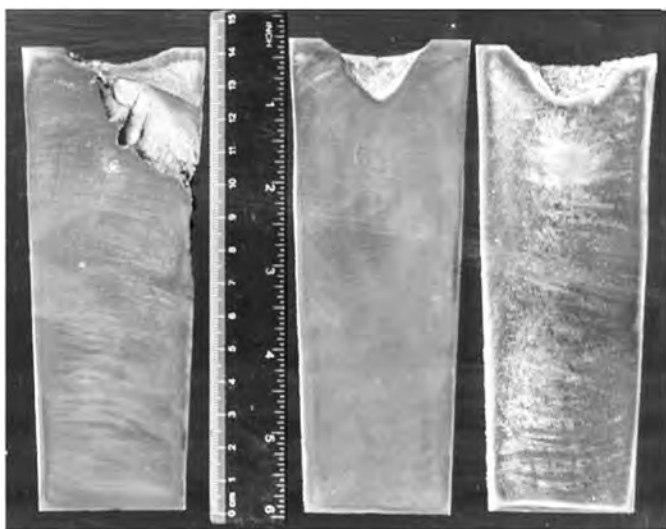
Макроструктура металу виливка, що піддавався модифікуванню та віброобробці з частотою 150 Гц, включає концентровану усадкову раковину правильної форми глибиною 25 мм з поодинокими тріщинами довжиною 4–6 мм на бічній поверхні раковини за відсутності розосередженої шпаристості.

Макроструктура металу виливка, що піддавався модифікуванню та віброобробці з частотою 100 Гц, включає концентровану усадкову раковину правильної форми глибиною 12 мм з поодинокими дрібними тріщинами довжиною 1–3 мм в центральній частині раковини за відсутності розосередженої шпаристості.

Висновки

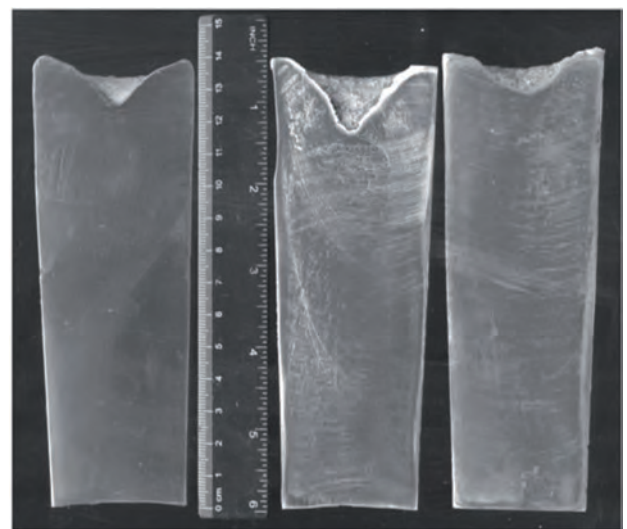
1. У промислових умовах проведено випробування технології лиття в кокіль виливків із сплаву АК7 із застосуванням окремо віброобробки в процесі затвердіння, та комплексної технології низькочастотної віброобробки та модифікування ультрадисперсним препаратом «Turphoon-Z». Встановлено можливість та перспективність використання цього комплексного технологічного процесу.

2. У результаті досліджень механічних властивостей металу дослідних виливків встановлено, що найбільше значення середньої межі міцності спостерігається у металу виливків, що піддавалися віброобробці з частотою 100 і 150 Гц та модифікуванню без вібраційного впливу (175 МПа, 171 та 166 МПа відповідно).



1 2 3

Рис. 2. Макроструктура виливків після віброобробки (без модифікування розплаву): 1 – 200 Гц; 2 – 150 Гц; 3 – 100 Гц



1 2 3

Рис. 3. Макроструктура виливків: 1 – модифікування розплаву; 2 – модифікування + вібрація 150 Гц; 3 – модифікування + вібрація 100 Гц

3. Результаты визначення щільності зразків металу дослідних виливків показали значний розбіг значень від 2,729 до 2,852 г/см³. Найбільші діапазони коливань значень щільності спостерігаються у зразках металу при віброобробці. Результати досліджень свідчать про наявність ліквідаційних зон у виливках, що отримані за традиційною технологією та з використанням тільки віброобробки.

4. Встановлено, що підвищення частоти вібрації до 200 Гц в процесі затвердіння вилівка в кокоті призводить до утворення у надливній частині грубих дефектів у вигляді порожнин різного об'єму та розосередженої шпаристості, що розповсюджується також у тіло вилівка. Найменша кількість дефектів та найбільш сприятлива макроструктура виливків спостерігається при використанні комплексної технології, що включає віброобробку з частотою 100 Гц та модифікування, а також при застосуванні тільки модифікування.

Бібліографічний список / References

1. Ефимов В. А. Перспективы развития работ по применению внешних воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав / В. А. Ефимов. – Киев: Изд. ИПЛ АН УССР, 1983. – С. 3–65.

Efimov V. A. *Perspektivy razvitiya rabot po primeneniyu vneshnikh vozdeystviy na zhidkiy i kristallizuyushchiysya rasplav*. Kiev, Publishing. UkrSSR IPL, 1983, pp. 3-65.

2. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях / А. Н. Смирнов, В. Л. Пилушенко, С. В. Момот, В. Н. Амитан. – Д.: ВИК, 2002. – 169 с.

Smirnov A. N., Pilyushenko V. L., Momot S. V., Amitan V. N. *Zatverdevanie metallichesкого расплава pri vneshnikh vozdeystviyakh*. Dnepropetrovsk, VIC Publ., 2002, 169 p.

3. Калиниченко А. С. Управляемое направленное затвердевание и лазерная обработка: теория и практика / А. С. Калиниченко, Г. В. Бергман. – Мн.: Технопринт, 2001. – 367 с.

Kalinichenko A. S., Bergman G. V. *Upravlyаемое направленное затverdevanie i lazernaya obrabotka: teoriya i praktika*. Minsk, Tehnoprnt, 2001, 367 p.

4. Закономерности формирования структуры слитков алюминиевых сплавов при непрерывном литье с ультразвуковой обработкой кристаллизующегося расплава / В. И. Добаткин, Г. И. Эскин, С. И. Боровикова, Ю. Г. Гольдер. – М.: Наука, 1976. – С. 151–161.

Dobatkin V. I., Eskin G. I., Borovikova S. I., Golder Y. G. *Zakonomernosti formirovaniya struktury slitkov alyuminievoykh splavov pri nepreryvnom lit'ye s ul'trazvukovoy obrabotkoy kristallizuyushchegosya raspлава*. Moscow, Science, 1976, pp. 151-161.

5. Немененок Б. М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов / Б. М. Немененок. – Мн.: Технопринт, 1999. – 272 с.

Nemenenok B. M. *Teoriya i praktika kompleksnogo modifitsirovaniya siluminov*. Minsk, Tehnoprnt, 1999, 272 p.

6. Скворцов А. А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок / А. А. Скворцов, А. Д. Акименко, В. А. Ульянов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.

Skvortsov A. A., Akimenko A. D., Ulyanov V. A. *Vliyanie vneshnikh vozdeystviy na protsess formirovaniya slitkov i zagotovok*. Moscow, Metallurgy, 1995, 272 p.

7. Ефимов В. А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов / В. А. Ефимов, А. С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1995. – 272 с.

Efimov V. A., Eldarkhanov A. S. *Fizicheskie metody vozdeystviya na protsessy zatverdevaniya splavov*. Moscow, Metallurgy, 1995, 272 p.

8. Эльдарханов А. С. Процессы кристаллизации в поле упругих волн / А. С. Эльдарханов. – М.: Металлургия, 1996. – 256 с.

Eldarkhanov A. S. *Protsessy kristallizatsii v pole uprugikh voln*. Moscow, Metallurgy, 1996, 256 p.

9. Скребцов А. М. О некоторых возможностях измельчения зерна металла отливки при внешнем воздействии на затвердевающий расплав / А. М. Скребцов, Л. Д. Дан, А. О. Секачев [и др.] // Металл и литье Украины. – 1996. – № 1–2. – С. 30–34.

Skrebtsov A. M., Dan L. D., Sekachev S. A. et al. *O nekotorykh vozmozhnostyakh izmel'cheniya zerna metalla otliivki pri vneshnem vozdeystvii na zatverdevayushchiy rasplav*. Metal and casting of Ukraine, 1996, no. 1-2, pp. 30-34.

10. Специальные способы литья: Справочник / В. А. Ефимов, Г. А. Анисович, В. Н. Бабич [и др.]; под общ. ред. В. А. Ефимова. – М.: Машиностроение, 1991. – 436 с.

Efimov V. A., Anisovich G. A., Babic V. N. et al. *Spetsial'nye sposoby lit'ya: Spravochnik*. Moscow, Engineering, 1991, 436 p.

11. Dotsenko Yu. Influence of heterogtneous crystallization conditions of aluminum alloy on its plastic properties / Yu. Dotsenko, V. Selivorstov, T. Selivorstova, N. Dotsenko // Науковий вісник Національного гірничого університету. – Дніпропетровськ, 2015. – № 3 (147). – С. 46–50.

Dotsenko Yu. Selivorstov V., Selivorstova T., Dotsenko N. *Influence of heterogtneous crystallization conditions of aluminum alloy on its plastic properties*. Scientific Bulletin of National mining University. Dnepropetrovsk, 2015, no. 3 (147), pp. 46-50.

12. Effect of Additions of Ceramic Nanoparticles and Gas-Dynamic Treatment on Al Casting Alloys /

K. Borodianskiy, V. Selivorstov, Y. Dotsenko, M. Zinigrad // Metals. – Basel, Switzerland, 2015. – Volume 5, Issue 4 (December 2015). – P. 2277–2288.

Borodianskiy K., Selivorstov V., Dotsenko Y., Zinigrad M. *Effect of Additions of Ceramic Nanoparticles and Gas-Dynamic Treatment on Al Casting Alloys*. Metals. Basel, Switzerland, 2015, vol. 5, issue 4 (December 2015), pp. 2277-2288.

Purpose. Investigations of mechanical properties and macrostructure of metal alloy castings AK7 obtained using vibratory processing, modification and a frequency of 100–200 Hz during solidification, and by conventional casting techniques in a metal mold.

Methodology. Mechanical properties of the casting material was determined according to GOST 1497-84 on a universal machine research "Instron" on standard samples cut from cylindrical castings. Hardness measurements of samples in the initial state and after the vibration action on the melt was determined by the standard method Brinell. Investigation of the aluminum alloy of density was determined by hydrostatic weighing to an accuracy of 0.001 g/cm³.

Findings. The article presents the results of tests of technology vibratory processing with a frequency of

100–200 Hz and modifying ultrafine melt modifier in the production of cylindrical billets of alloy AK7 way chill casting. Defined mechanical properties of cast metal produced using various types of processing, and metal castings produced by conventional technology.

Originality. The effect of low-frequency vibration in the process of solidification and modification on the macrostructure of castings. Revealed a link between the presence of phase-separation phenomena and modes vibratory processing. The data showed the prospects for further research in order to develop and improve relevant processes.

Practical value. It was established that the least number of defects, and the most favorable cast macrostructure is observed when using the complex technology involving vibratory processing 100 Hz and modification, as well as by use of only the modification.

Key words: chill casting, vibration effects, modifying castings, technology, pattern, mechanical properties, macrostructure.

Рекомендовано до публікації
д. т. н. В. Т. Калініним

Поступила 04.10.2016

