

## Структурутворення литих сталей при використанні гранульних компонентів шихти

С. Є. Кондратюк, доктор технічних наук, професор  
О. М. Стоянова, кандидат фізико-математичних наук  
Ж. В. Пархомчук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*На прикладі сталей 45Л і У7Л показано можливості цілеспрямованого підвищення дисперсності литої структури введенням у розплав добавок гранульного металу швидкісної кристалізації аналогічного хімічного складу. Закладені в ньому спадкові особливості структури зумовлюють утворення в розплаві, що кристалізується, значної кількості зародків кристалізації і забезпечують формування однорідної дисперсної структури по перерізу виливків. Показана також доцільність використання гранульних компонентів як основного шихтового металу при виготовленні виливків.*

Останнім часом набувають розвитку ливарні технології з використанням швидкісної кристалізації металевого розплаву у широкому діапазоні змін швидкості охолодження  $V_{\text{ох}} = 10^3 - 10^6$  °С/с для одержання фасонних виливків, зокрема, гранульованих сплавів [1 – 5]. За цих умов формуються високодисперсні нерівноважні структури з підвищеною легованістю твердого розчину легуючими елементами порівняно з їх пороговою розчинністю в основному металі і пригнічуються процеси фазових перетворень при кристалізації та охолодженні матеріалу. Таким чином створюються передумови одержання сплавів з певною підготовленою структурою, що може з успіхом використовуватися при наступних операціях виготовлення виробів (пресуванні, спіканні, прокатуванні), зберігаючи закладені в швидкоохолодженому металі спадкові ознаки і особливі властивості [6]. Проте широке використання таких гранульних матеріалів стримується необхідністю застосування при виготовленні з них виробів потужного пресового і спеціального прокатного та термічного обладнання тощо.

З огляду на це перспективним може бути використання гранульних і порошковоподібних матеріалів як шихтового матеріалу або структурованого модифікатора у традиційних технологіях ливарного виробництва, оскільки при цьому зберігаються, закладені в них швидкісною кристалізацією, металогенетичні спадкові ознаки і відповідний рівень властивостей [5 – 7].

Виходячи з цього досліджено вплив швидкоохолоджених при кристалізації гранульних компонентів шихти на характеристики литої структури сталей 45Л і У7Л. Гранульні компоненти шихти досліджуваних сталей одержували за технологією струменевого формування (Osprey process) при розплавленні металу в індукційній печі і розпиленні розплаву азотом через

форсунку [8] з утворенням крапель, що кристалізувались при середній швидкості охолодження  $10^3$  °C/с з утворенням гранул розміром 0,5 – 2,0 мм і високодисперсною структурою ( рис. 1).

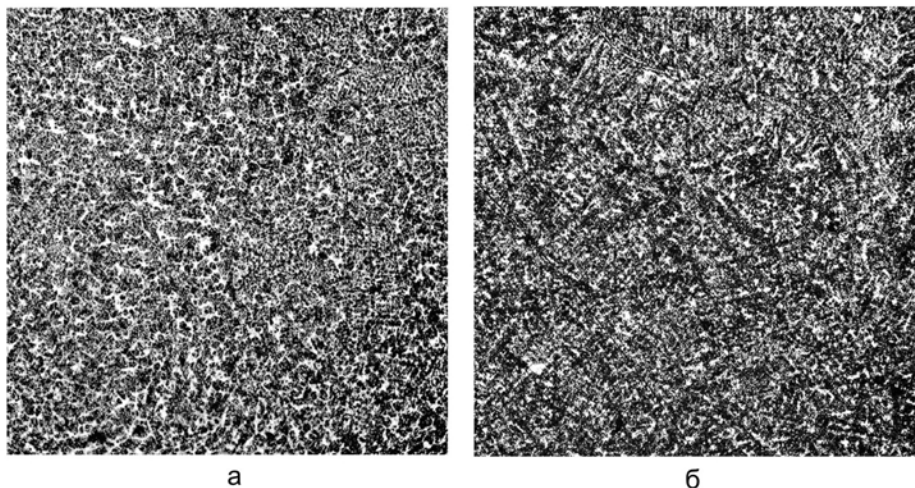


Рис. 1. Структура гранульних швидкоохолоджених компонентів шихти. а – сталь 45Л; б – сталь У7Л. Травник – 3 % спиртовий розчин  $\text{HNO}_3$ . x 100.

В подальших експериментах такий метал використовувався в якості добавок до розплавів сталей 45Л і У7Л у кількостях 5, 10 і 15 % по масі. Розливку сталей здійснювали у піщані тріфоподібні проби (ГОСТ 977-88) від стандартних температур 1550 °C (сталь 45Л) і 1500 °C (сталь У7Л) з попередньою ізотермічною витримкою розплаву 3 – 5 хв. при перевищенні вказаних температур на 30 °C для повного розчинення гранульної добавки і усунення інокулюючого ефекту.

Порівняльними металографічними дослідженнями встановлено закономірні зміни розмірів зерна досліджуваних сталей залежно від кількості введеної добавки гранульованої дисперсноструктурованої сталі аналогічного хімічного складу (рис. 2). Так, розмір зерна сталі 45Л при збільшенні кількості гранульної добавки у вказаних межах зростає порівняно із вихідною структурою від номера -1 до номерів 1, 3, 4, а сталі У7Л від номера 2 до номерів 3, 5, 6 відповідно.

Таким чином, виходячи з уявлень про подібність структурних станів твердого вихідного металу і мікронеоднорідного розплаву [9], показано, що за нормальних температур перегріву металу над ліквідусом гранульні компоненти шихти з високодисперсною структурою, введені в розплав сталей перед розливкою, зумовлюють відповідні зміни їх литої структури. При цьому у виливках сталей успадковується високодисперсна структура швидкозакристалізованих гранул. Це забезпечує закономірне подрібнення зерна і підвищення характеристик дендритної будови сталей – дисперсність (ДДС) і щільність (ЩДС) дендритної структури (таблиця). Встановлено, що в межах експерименту досягається можливість цілеспрямованого підвищення дисперсності дендритної структури від 6,2 до 38,0 (сталь 45Л) і від 12,5 до

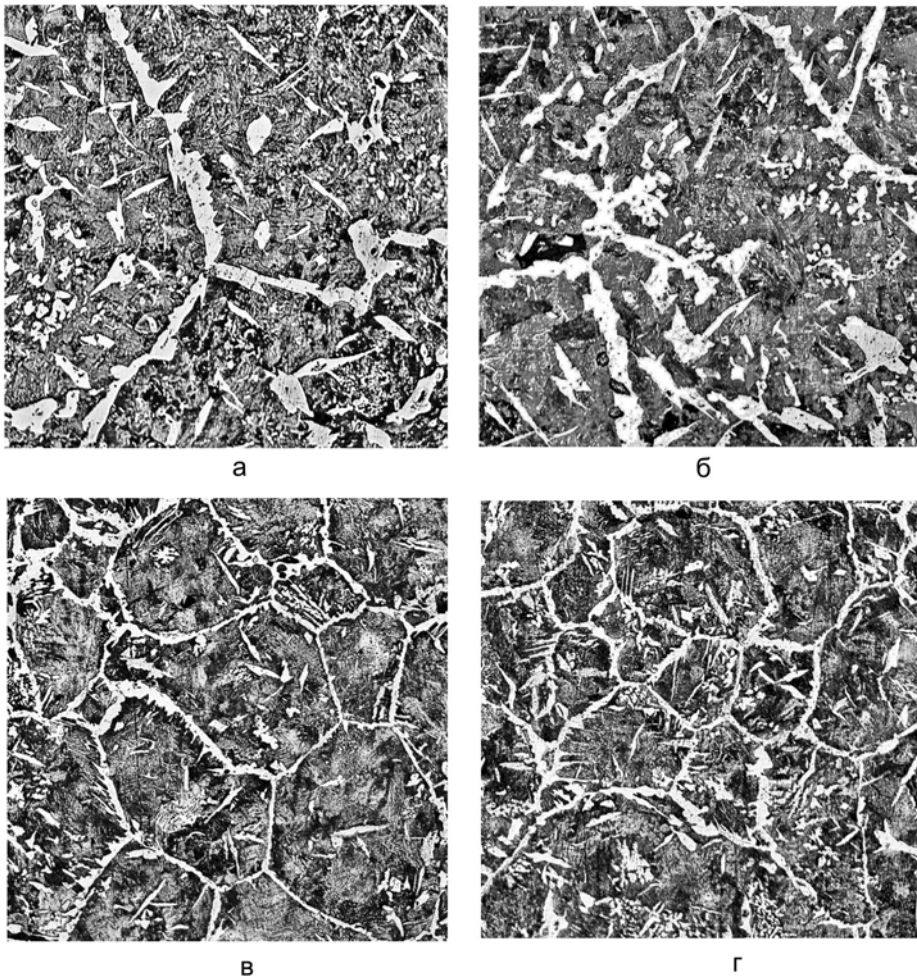


Рис. 2. Зміна розміру зерна сталі 45Л залежно від кількості введеної в розплав гранульної добавки. а – без добавки; б, в, г – 5, 10, 15 % добавки відповідно. Травник – 3 % спиртовий розчин  $\text{HNO}_3$ ,  $\times 100$ .

44,2 (сталь У7), а також щільності дендритної структури від 0,81 до 1,80 (сталь 45) і від 0,88 до 2,46 (сталь У7) зміною кількості введених в розплав гранульних добавок сталей аналогічного хімічного складу.

Характеристики дендритної будови сталей залежно від кількості гранульної добавки

Сталь	Кількість добавки, % (по масі)							
	0		5		10		15	
	ДДС	ЩДС	ДДС	ЩДС	ДДС	ЩДС	ДДС	ЩДС
45Л	6,2	0,81	11,7	0,92	23,5	1,10	38,0	1,80
У7Л	12,5	0,88	14,3	0,96	28,4	1,98	44,2	2,46
Примітка: ДДС – дисперсність дендритної структури, ЩДС – щільність дендритної структури								

## Плавлення і кристалізація

Слід відзначити, що максимальна однорідність і подрібнення елементів литої структури сталей має місце при введенні до розплаву 10 і 15 % гранульних добавок (рис. 3). В разі введення меншої кількості добавок (5 %) спостерігається певна неоднорідність дендритної будови виливків у вигляді локальних ділянок більш дисперсної структури, що відповідають успадкованому високодисперсному стану гранул швидкісної кристалізації на тлі грубої структури основного металу (рис. 4).

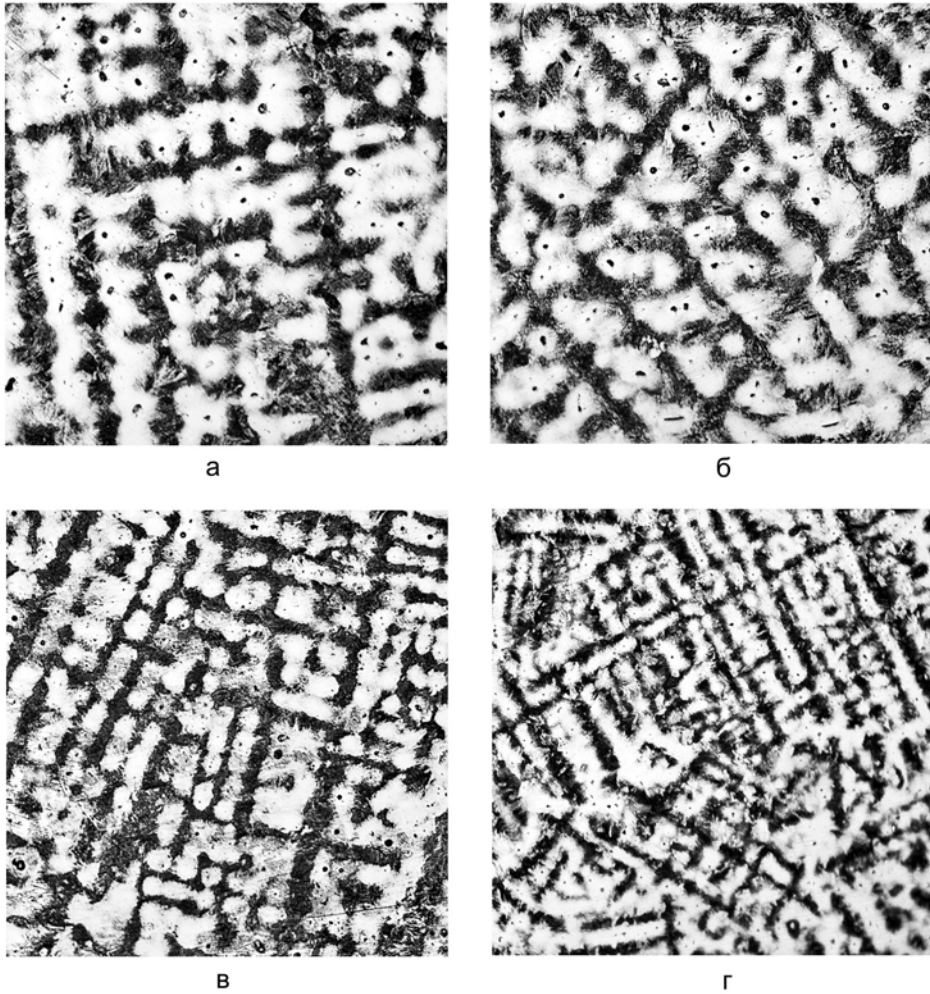


Рис. 3. Дисперсність дендритної будови сталі 45Л залежно від кількості введеної в розплав гранульної добавки. а – без добавки, б, в, г – відповідно 5, 10, 15 % добавки. Травник – реактив Стеда.  $\times 100$ .

Тобто за цих умов формується неоднорідна за дисперсністю лита структура сталей однакового хімічного складу, що може розглядатися як природний композитний матеріал. При збільшенні вмісту гранульних добавок (10 і 15 %) структура сталей у виливках стає однорідною з відповідним підвищенням її дисперсності.

Окрім використання дисперсноструктурованих гранульних добавок як своєрідного структурного модифікатора досліджено також доцільність

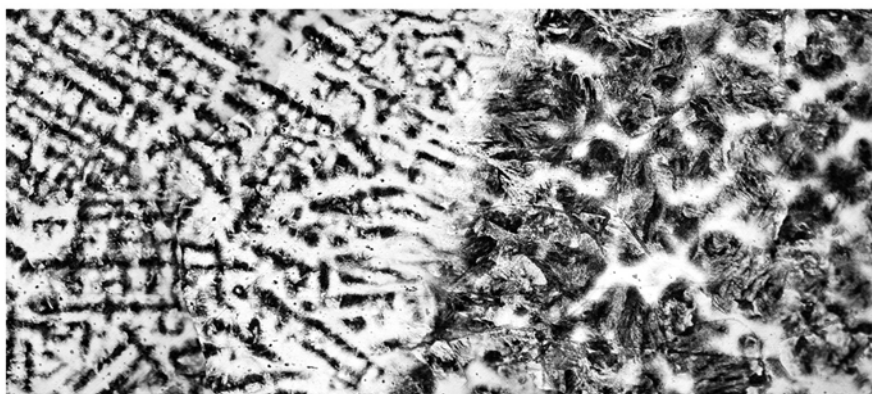


Рис. 4. Дендритна неоднорідність в структурі сталі 45Л з 5 % гранульної добавки. Травник – реактив Стеда. х 150.

одержання литих виробів при використанні їх як основного шихтового металу. На прикладі досліджуваних сталей експериментально показано ефективність переплавлення таких гранул (шроту) розміром 2 – 3 мм на формування у виливках тріфоподібних проб своерідної дисперсної структури (рис. 5) з розмірами зерна номеру 7 (сталь 45Л) і номеру 8 (сталь У7Л).

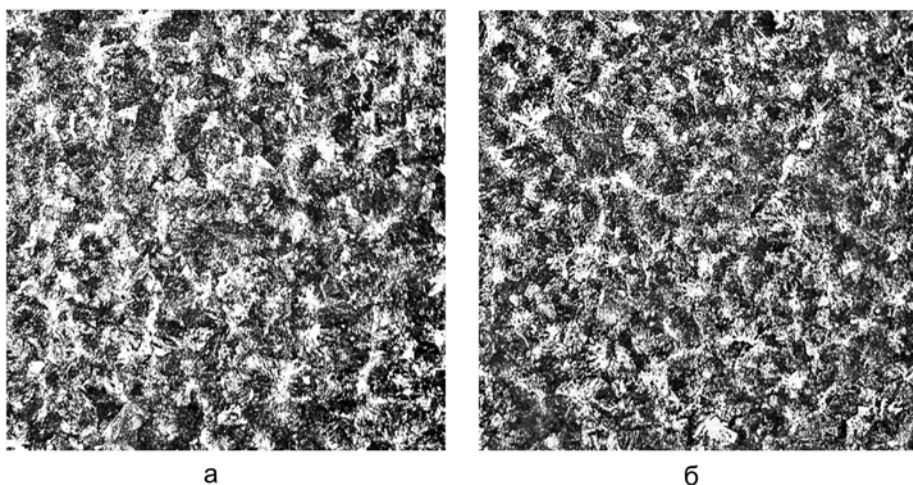


Рис. 5. Структура виливків з гранульної шихти сталей 45Л (а) і У7Л (б). Травник – 3 % спиртовий розчин  $\text{HNO}_3$ . х 100.

Одержані результати узгоджуються з уявленнями щодо існування в розплавах певних мікрогрупвань атомів (кластерів), в межах яких зберігається ближній порядок їх розташування, подібний до твердого тіла. Такий мікронеоднорідний розплав у певному інтервалі температур його перегріву над ліквідусом зберігає фазово-структурні особливості компонентів шихти (основного металу і гранульних добавок), які успадковуються при наступній кристалізації сталей. Таким чином, цілеспрямовано впливаючи на фазовий і структурний стан компонентів шихти і будову рідкого металу, можна

забезпечити одержання подібних структурних характеристик і відповідних властивостей сталей у виливках. Використання гранульних технологій відкриває додаткові резерви підвищення якості рівня властивостей литих виробів без зміни і ускладнення хімічного складу сталей.

### Література

1. Колпашников А.И., Ефремов А.В. Гранулированные материалы. – М.: Металлургия, 1977. – С. 238.
2. Савицкий Е.М., Ефремов Ю.В. Сверхбыстрое охлаждение металлических расплавов // Металлургия и металловедение цветных сплавов. – 1982. – № 2. – С. 61 – 70.
3. Добаткин В.И., Елагин В.И. Гранулируемые алюминиевые сплавы. – М.: Металлургия, 1981. – С. 175.
4. Кимстач Г.М. О гранульной технологии литья // Литейн. пр-во. – 1986. – № 10. – С. 10 – 12.
5. Кондратюк С.Є. Структуроутворення, спадковість і властивості литої сталі. – Київ: Наук. думка, 2010. – 175 с.
6. Кондратюк С.Є., Стоянова О.М., Пляхтур О.О. Структуроутворення при переплавах сталей у зв'язку з нерівноважністю і структурною спадковістю шихтових матеріалів // МОМ. – 2012. – № 1. – С. 3 – 9.
7. Кондратюк С.Є., Стоянова Е.Н., Щеглов В.М., Примак И.Н., Пархомчук Ж.В. Наследственное модифицирование сталей дисперсно-структурированными компонентами шихты // Процессы литья. – 2013. – № 2. – С. 19 – 24.
8. Лакенихт Ф., Шарф Г., Зебровски Д. Струйное компактирование – перспективный процесс производства сталей и сплавов повышенного качества // Металлург. – 2010. – № 10. – С. 26 – 43.
9. Замятин В.М., Баум Б.А. К вопросу о металлургической наследственности и формировании свойств металлопродукции // Металлургия машиностроения. – 2010. – № 6. – С. 6 – 12.

Одержано 12.06.13

**С. Е. Кондратюк, Е. Н. Стоянова, Ж. В. Пархомчук**

### **Структурообразование литых сталей при использовании гранульных компонентов шихты**

#### **Резюме**

На примере сталей 45Л и У7Л показана возможность целенаправленного повышения дисперсности литой структуры введением в расплав добавок гранульного металла быстрой кристаллизации аналогичного химического состава. Заложенные в нем наследственные особенности структуры обуславливают образование в расплаве значительного количества зародышей кристаллизации и обеспечивают формирование однородной дисперсной структуры. Показана также целесообразность использования гранульных компонентов в качестве основного шихтового металла при изготовлении отливок.

S. Ye. Kondratyuk, E. N. Stoianova, Z. V. Parchomchuk

Structure formation of cast steels using granular components of the charge

Summary

By the example of steel 45Л and У7Л the possibility of purposeful increase of dispersion of the cast structure by introducing additives into the melt of metal granular rapidly crystallized of a similar chemical composition. It is also shown the feasibility of using steel as the granular core of charge in the manufacture of metal castings.

УДК 669.715:532.78

*Вплив структурного стану алюмінієвих розплавів в передкристалізаційній температурній області на процеси їх тверднення (огляд)*

Г. П. Борисов, доктор технічних наук, чл.-кор. НАН України  
В. М. Дука

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*В роботі з позицій квазікристалічної моделі структури розплавів розглянуті питання еволюції структурного стану алюмінієвих розплавів в передкристалізаційній температурній області та їх взаємозв'язок з процесом тверднення. Показано, що існує послідовний перехід квазідвофазних сплавів зі зниженням температури від одного структурного стану до іншого, що закономірно впливає на процеси наступного зародкоутворення та росту кристалів.*

Результати досліджень закономірностей процесів фазового перетворення металів та сплавів з рідкого в твердий стан переконливо свідчать про те, що кінцева структура виливків залежить не тільки від чинників теплосилового впливу на металеву систему в інтервалі кристалізації, а й в значній мірі від вихідного структурного стану розплаву та кінетики його перетворень при наближенні до температур передкристалізаційної області. Саме з будовою розплаву пов'язують інтенсивність розвитку такого вирішального фактора структуроутворення литих матеріалів як швидкість утворення критичних зародків кристалізації.

Значний інтерес викликає аналіз існуючих точок зору, щодо будови та властивостей алюмінієвих сплавів саме поблизу температур початку кристалізації. В цьому плані ефективним показником динаміки розвитку