

УДК 621.74

**А. С. Нурадинов, О. В. Ноговіцин, В. П. Школяренко, І. А. Нурадінов,  
О. В. Чистяков**

Фізико-технологічний інститут металів і сплавів НАН України, Київ

*E-mail:* [nla\\_73@ukr.net](mailto:nla_73@ukr.net)

## **МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ УТВОРЕННЯ ЗАРОДКІВ В РОЗПЛАВАХ МЕТАЛІВ ПРИ ЇХ ОХОЛОДЖЕННІ**

Для ефективного управління процесами кристалізації та структуроутворення металів необхідно глибоке розуміння фізичної сутності процесів утворення та зростання кристалів. Тому у цій роботі проведено дослідження щодо вивчення механізму гетерогенного зародження кристалів у металах методом фізичного моделювання на прозорих органічних середовищах.

Відомо, що термодинамічний стимул переходу розплаву металу з рідкого в твердий стан є різниця вільних енергій між твердою ( $G_{тв.}$ ) і рідкою ( $G_{ж.}$ ) фазами  $\Delta G$  [1]:

$$\Delta G = \frac{L \cdot \Delta T}{T_{пл.}}, \quad (1)$$

де  $L$  – тепло кристалізації металу;  $\Delta T$  – переохолодження розплаву, у якому утворюється центр кристалізації (зародок);  $T_{пл.}$  - температура плавлення.

З цієї залежності бачимо, що переохолодження є одним з основних параметрів процесу утворення зародків у розплавах металів. За зміною ступеня переохолодження розплавів металів, при якому відбувається утворення центрів кристалізації в них, можна судити про їх чистоту, ефекти домішок та інших факторів. Існує гіпотеза, що зростання ступеня переохолодження розплаву металу зі збільшенням його перегріву пов'язані з дезактивацією твердих підкладок, тобто розплавленням кристалічної фази, що є в мікропорах на їх поверхнях [1, 2]. З проведених нами експериментів випливає, що вплив перегріву на переохолодження розплавів металів, поряд з дезактивацією твердих підкладок, може бути обумовлено зміною концентрації присутніх у них розчинних домішок [3, 4]. У міру підвищення температури перегріву розплаву металу, внаслідок збільшення розчинності таких домішок, може відбутися зміна його в'язкості, теплоти

фазового переходу, теплоємності та інших теплофізичних характеристик. І, як наслідок, можливе зміщення межі метастабільності в ділянках менших чи більших переохолоджень.

Вважається, що утворення зародків на підкладках має флуктуаційний характер, тобто обумовлено випадковим приєднанням та відривом блукаючих частинок рідини [1]. Нами показано, що утворення зародків у стаціонарних умовах охолодження розплавів (без зовнішніх впливів) відбувається не в обсязі рідкої фази, а в граничному шарі між підкладкою та розплавом, що уможливорює дислокаційний механізм. У такому разі такі фактори, як переохолодження, перегрів, розчинні та нерозчинні домішки, а також зовнішній силовий вплив має ефективно впливати на кристалоутворення, що і було підтверджено в ході досліджень.

Фізична адсорбція молекул (атомів) на твердій поверхні є загальноновизнаним фактом. При цьому відкритим залишається питання про активність адсорбованої частини молекул (атомів) щодо стимулювання ними процесу утворення зародків. У ході цих досліджень доведено, що адсорбовані зародки під зовнішнім силовим впливом здатні зростати навіть за малих переохолоджень. Як силові методи впливів на процес утворення зародків при цьому використовували тертя, вібрацію і ультразвук. Тертя здійснювали обертанням диска, на який опущений індентор фіксованої ваги та радіусу. Вібрирування зразків здійснювали вертикальним або горизонтальним коливанням ампул, запаяних з досліджуваною речовиною та кульками (як імітатори механічних домішок). Зіткнення кульок у процесі коливань ампул, як показали експерименти, викликало той самий ефект, як і тертя. Ультразвукову обробку зразків здійснювали шляхом озвучування ампул з розплавом.

У таблиці 1 зіставлені переохолодження різних речовин, отриманих при спонтанному зародженні  $\Delta T$  та в умовах зовнішніх силових впливів  $\Delta T$  [5].

Таблиця 1 – Вплив зовнішніх силових впливів на переохолодження розплавів

№ № п/п	Речовина	Переохолодження, $\Delta T, ^\circ\text{C}$			
		спонтанне	при терті	при вібрації	при ультразвуку
1.	Нафталін	7	0,5	0,5	1,5
2.	Азобензол	15	5	5	7
3.	Дифеніламін	21	6	7	9
4.	Салол	40	9	9	13
5.	Галій	29	3	3	5

З таблиці 1 видно, що у ряді випадків тертя кульок (механічних домішок) призводить до зародження кристалічної фази при  $\Delta T$ , близьких до нуля і значно менше від спонтанного переохолодження  $\Delta T$ . У літературі вплив тертя на переохолодження пояснюється оголенням нових активних центрів, енергетично вигідніших для флуктуації [1, 6]. Наші експерименти не підтвердили це припущення. Наприклад, спонтанне утворення зародків в розплаві азобензолу відбувається при переохолодженні  $\Delta T = 15^\circ\text{C}$ . Але той же розплав, що охолоджується при терті в його обсязі скляних поверхонь, переохолоджується лише на  $5^\circ\text{C}$ . Однак, якщо припинити тертя при  $\Delta T = 4^\circ\text{C}$  (після тривалого, як прийнято вважати, оголення активних центрів), утворення центрів кристалізації відбувається при переохолодженні  $15^\circ\text{C}$ , а не при  $5^\circ\text{C}$ , тобто при тому ж значенні  $\Delta T$ , що і при спонтанній кристалізації (до оголення активних ділянок твердої поверхні).

В іншому експерименті тертя мідних поверхонь в салолі, що охолоджується, дає  $\Delta T = 9^\circ\text{C}$ , а без тертя  $\Delta T = 40^\circ\text{C}$ . Однак оголення в охолоджуваному розплаві салолу «свіжої» поверхні розтягуванням мідного дроту до розриву викликає зародження за тих же  $\Delta T = 40^\circ\text{C}$ . Вважається, що у разі флуктуаційного механізму зародження на оголеній активнішій поверхні після тертя має пройти деякий час, необхідний для утворення та зростання зародка [1, 2, 6]. При цьому слід очікувати утворення окремих центрів кристалізації за слідом тертя, проте такого зародження в переохолоджених розплавах зафіксувати не вдалося. Зародження центрів кристалізації в переохолоджених розплавах завжди неодмінно відбувалося між парою, що труться. Таким чином, зародження кристалів при терті відбувається при менших переохолодженнях не через те, що оголюється свіжа активніша поверхня, а, ймовірно, внаслідок створення нових ступенів росту.

Таким чином, на підставі проведених експериментів встановлено, що при переохолодженнях, значно менших, ніж спонтанне переохолодження, у розплаві можуть існувати кристалічні зародки, здатні зростати за наявності джерел шарів. Тому, тертя поверхонь у переохолодженій рідині викликає зародження кристалів не внаслідок оголення нових активних центрів, енергетично більш вигідних для флуктуації, а через механічний вплив на адсорбовані на поверхні нерозчинних домішок зародків і створення при цьому ступенів зростання.

Аналогічно пояснюється вплив будь-якого фізичного впливу, здатного призвести до механічного впливу на зародок. Вплив вібрації та ультразвуку в процесі охолодження розплаву підвищує швидкість зародження кристалів через те, що кавітаційна ерозія та перемішування створюють на адсорбованих зародках джерела шарів росту.

При цьому їх вплив ефективніший, якщо у розплаві є механічні домішки, які за рахунок тертя між собою та стінками судини створюють щаблі на адсорбованих зародках.

### Список літератури

1. Овсиенко Д.Е. Зарождение и рост кристаллов из расплава. – Киев: Наукова Думка, 1994. – 256 с.
2. Данилов В.И. Строение и кристаллизация жидкости. – Киев: Издательство АН УССР, 1956. – 568 с.
3. Нурадинов А.С. Влияние перегрева, ультразвука и давления на величину предельного переохлаждения сплава // Процессы литья, 1997, №2, с.17-20.
4. Нурадинов А.С. Механизм влияния перегрева на переохлаждение расплава // Процессы литья, 1997, №3, с.55-58.
5. Межидов В.Х., Нурадинов А.С., Эльдарханов А.С., Таранов Е.Д. О механизме образования и роста кристаллических зародышей в расплавах // Процессы литья №6, 2010, с. 3 -7.
6. Гельперен Н.И., Носов Г.А. Основы техники кристаллизации расплавов. – М.: Химия, 1975. – 351 с.

УДК 621

**П.С. Пензєв**

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків

### **ІНЖЕНЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ЛИТТЯ СКЛАДНИХ КОРПУСНИХ ВИЛИВКІВ НА ПРИКЛАДІ ДЕТАЛІ-ПРЕДСТАВНИКА ДВИГУНУ ТИПУ 4ДТНА1**

Відомо, що управління кристалізацією сплаву відіграє найважливішу роль для отримання якісної литої деталі. Поява дефектів усадкового характеру в тілі литої деталі призводить до таких наслідків, як зниження механічних характеристик деталі, її зносостійкості, поява тріщин у місцях утворення дефектів тощо.

Сучасні тенденції проектування технологічного процесу під час виробництва складних корпусних литих деталей двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) здійснюються з урахуванням вимог зі збільшення потужності та мінімізації викидів токсичних