

УДК 539.4.016:621.831

**А.И. ДОЛМАТОВ, А.А. КОЛОС**

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Украина*

## **ЛИТЕЙНЫЙ ПРОЦЕСС КРИСТАЛЛИЗАЦИИ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ ФАКТОРЫ КРИСТАЛЛООБРАЗОВАНИЯ**

Рассмотрен физический процесс кристаллизации металлического материала с ультразвуковым воздействием элемента модификатора на поток кристаллизации. Сравнительные показатели механико-физических свойств по типу металлического сплава приведены для производства литья отливок зубчатых колес в машиностроении. Цель – снижение стоимости изготовления и механической обработки. Также обсуждены перспективы дальнейших исследований кристаллизации с ультразвуковым воздействием и определением примесей добавок и модификатора.

**зубчатые колеса, изнашивание, анализ, материалы, механико-физические свойства, качество, ремонт, цена затрат.**

### **Введение**

Большинство цилиндрических и конических зубчатых колес, а также червяков изготавливаются из стальных кованых заготовок без предварительно формованных зубьев. Часть цилиндрических и конических колес изготавливается из серого чугуна, а иногда из стального литья. Червячные колеса и особенно их венца чаще всего выполняются из отливок. Характер заготовки, применяемой для изготовления зубчатых колес и червяков, зависит от размеров детали, её конфигурации, технических требований, предъявляемых к материалу колеса и масштабов производства. [6]

### **1. Формулирование проблемы**

Конструкция колеса должна создаваться с учетом методов изготовления заготовок, чтобы обеспечить минимальную трудоемкость обработки детали в целом, и особенно поверхностей, механическая обработка которых вызывается только способом выполнения заготовки колеса. Величины припусков на последующую механическую обработку колёс должны учитывать возможность полного удаления с обрабатываемых поверхностей слоя металла, имеющего дефектную структуру или пороки, образовавшиеся в процессе формования заготовки.

### **2. Обзор публикаций и выделение нерешенных задач**

Интерес представляют по данным литературных источников научно-технических и производственных журналов «СТАЛЬ» следующие темы процесса литейного. Такие понятия как рафинирование смеси расплава; скорость кристаллизации; качество внутреннего строения сляба; шлакообразующие смеси; кристаллизаторы; концентраты; фазовая дифференциация; операционный температурный контроль материала.

Большое влияние на улучшение таких свойств металлотейной продукции, как повышение плотности литейного металла, уменьшение протяженности зоны столбчатых кристаллов, повышение пластичности стали при температурной горячей деформации; снижение степени ликваций; оказание неравномерности многокомпонентного промышленного расплава в однородное равновесное состояние.

Степени микронеоднородности образуются различные, так же различного характера интенсивность кристаллизации и показатели качества микроструктуры непрерывнолитых слябов (осевая рыхлость, осевая химическая неоднородность). Данные вопросы требуют дальнейшего исследования.

Определенное внимание занимают темы по вопросам воздействия на затвердевание непрерывного литого слитка заготовки путем подготовки металла расплава к кристаллизации при воздействии электромагнитным потоком, и ускоренное импульсное охлаждение при кристаллизации [7].

Изучение технологий обычно ограничивается рамками отдельных операций.

Однако, при использовании высокоинтенсивных воздействий потоками энергии и вещества необходимо всесторонне исследовать точность и физико-механические свойства, учитывая действие технологическо-эксплуатационной наследственности.

Это означает, что все операции и их технологические переходы, а также характеристики обработанных поверхностей формируются всем комплексом технологических воздействий, и изменяются в процессе эксплуатации детали.

Таким образом, вопрос о повышении долговечности зубчатых колес актуален и представляет интерес для исследований.

### 3. Постановка задачи исследования

Заготовки – отливки колес из чугуна или литой стали – обычно воспроизводят форму детали с припусками на поверхностях, подлежащих последующей механической обработке в соответствии с чертежом. Поверхности колеса, не подлежащие по требованиям чертежа последующей обработке, формируются непосредственно в отливке.

Отливки после механической обработки составляют почти половину массы деталей всех машин, механизмов, приборов и аппаратов, выпускаемых разными отраслями машино- и приборостроения.

Сущность литейного производства сводится к получению жидкого, т.е. нагретого выше температуры плавления, сплава нужного состава.

В процессе кристаллизации и охлаждения сплава формируются основные механические и эксплуатационные свойства отливки, определяемые макро- и микроструктурой сплава, его плотностью, наличием и расположением в нем неметаллических включений, развитием в отливке внутренних напряжений, вызванных неодновременным охлаждением ее частей и др. (табл. 1) [4, 7].

Таблица 1

Сравнительные свойства литья углеродистой стали и высокопрочного чугуна

№ п/п	Свойства	Сталь	Высокопрочный чугун (ВЧ)
1	Пределная прочность при растяжении, кгс/мм <sup>2</sup>	40 – 60	38 – 120
2	Относительное удлинение, δ %	10 – 24	2 – 17
3	Уд. вязкость, кгс/мм <sup>2</sup>	2,5 – 5,0	1,5 – 3,0
4	Пред. текучести, σ <sub>т</sub> (кгс/мм <sup>2</sup> )	19 – 40	24 – 90

### 4. Изложение основного материала с обоснованием полученных результатов

Качество отливки зависит в первую очередь от того как есть подготовлена жидкость расплава к кристаллизации переходу. Интерес представляют процессы ультразвуковой активации центров кристаллизации жидкого расплава.

Основными закономерностями кристаллизации процесса являются параметры скорости и количества центров кристалла. Здесь фактором является оп-

ределяющая фаза переохлаждения. При воздействии электромагнитными волнами происходит усиление внутренних колебаний атома металла. А это приводит к активации и усилению энергетического потенциала выборочных центров кристаллизации расплава. Это означает, что есть вынужденные колебания, вызываемые действием периодических внешних сил, воздействующих на систему. В свою очередь система обладает сложными периодическими колебаниями.

Центрами конденсации могут быть кристаллы модификатора, что проявляются в ходе сублимации. Модификаторы способствуют кристаллизации и определяют качественные признаки дисперсности, диспергирования, сублимации и формы. Модификатора параметры должны быть заданными для микросвойств структуры. Что есть скорость и количество центров кристаллизации.

До начала кристаллизации литейные сплавы представляют собой коллоидно-дисперсные системы, т.е. системы, состоящие из жидкости с находящимися в ней очень мелкими возможными зародышами кристаллизации. Соответствующим воздействием на эти зародыши можно повлиять на строение сплава после затвердевания.

Структуру металлов и сплавов при их кристаллизации модифицируют с помощью: тугоплавких частиц, которые служат „затравками” и искусственно увеличивают число зародышей; поверхностно-активных элементов, адсорбирующихся на гранях растущих кристаллов и создающих при этом „барьер” между растущими кристаллами и жидкостью; добавок, вступающих в химическую реакцию с элементами, находящимися в расплаве.

Образующиеся химические вещества (оставаясь в нем или удаляясь из него) могут изменить физико-химическую природу сплава и его кристаллизационную способность [1, с.20].

В результате модифицирования могут произойти различные структурные изменения, в частности, изменение размеров первичных зерен (дендритов) и других продуктов первичной кристаллизации; кроме того, изменяется внутреннее строение первичных зерен (дендритов) и структура эвтектик.

В основе каждого изменения могут быть совершенно различные физико-химические процессы. Вместе с тем, для получения одних и тех же структурных изменений можно использовать совершенно различные свойства. В зависимости от физико-химической природы используемых модификато-

ров, характера их взаимодействия с основными компонентами сплава или находящимися, в нем примесями возможна разработка различных вариантов процесса модификации.

Характер распространения дендритного строения показывает структурную однородность слитка.

Дендрит образует скелет металлического кристалла. При кристаллизации металлов, не содержащих растворимых примесей, ветви дендрита к концу процесса затвердевания заполняют всё пространство слитка. Они отделены одна от другой тончайшими прослойками нерастворимых примесей и мельчайшими спорами газового и усадочного происхождения [4].

Распространение теплового фронта определяет ход течения кристаллизации процесса. В свою очередь это обуславливает структуру слитка.

Ультразвуковой поток изменяет температурный фронт движущегося кристалла. Ультразвуковые колебания, введенные в кристаллизующийся расплав, изменяют условия протекания процессов зарождения и роста кристаллов. Так, например, диспергирование кристаллов может происходить только на межфазной поверхности расплав-кристалл, т.е. на фронте кристаллизации или на поверхности затвердевшей корочки расплава. Активация примесей, развитие в расплаве акустических течений, изменение градиентов температуры в расплаве, напротив, возможно только в жидком металле вдали от фронта кристаллизации.

Возникновение пульсирующей кавитации на поверхности кристаллизации приводит к диспергированию, и в следствии приводит к увеличению центров кристаллизации. Расчеты показывают, что напряжения, возникающие в поверхностном слое металлов при захлопывании кавитационного пузырька, непосредственно примыкающего к поверхности или находящегося от него на расстоянии, не превышающем нескольких микрометров, составляет  $\sim 10^3$  атм [4]. Такие напряжения, безусловно, должны

вызывать диспергирование кристаллов на фронте кристаллизации, где их прочность невелика.

В отношении среда-кристалл для значений по мощности ультразвукового излучения, вызывающего кавитацию к структуре кристалла, определенного степени дисперсности, может составлять примерно равное значение. Но это не является условием для увеличения скорости кристаллизации, и определяет как катализатор процесса.

Роль примесей в механизме кристаллизации в поле ультразвука определена не только за счет кавитационного воздействия, но также и за счет сил в поле вязкого трения между движущимися потоками расплава и твердой частицей. Однако, по данным большинства исследователей, кавитационные процессы играют в механизме активации доминирующую роль.

Структура обработанного ультразвуком металла с примесью измельчалась значительно сильнее, чем чистый металл, обработанный колебаниями той же или большей мощности. Так, при обработке чистого олова колебаниями мощностью 120 Вт зерно измельчалось в 20 раз, а при обработке с 0,5% примеси колебаниями мощности 90 Вт – примерно в 50 – 70 раз [7].

Эффективность измельчения литой структуры особенно повышается при одновременном введении в расплав модификаторов зародышевого типа и интенсивного ультразвука.

### **Выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении**

Следует указать, что механизм активации примесей в ультразвуковом поле, пока разработан недостаточно, чтобы отдать предпочтение какому-либо одному фактору. Важно только отметить, что и кавитация, и вязкое трение, и акустические потоки увеличивают скорость зарождения центров кристаллизации в расплаве, повышая тем самым вероятность объемной кристаллизации и измельчения зерна.

Значительное улучшение качества структуры литейных сплавов, достигаемое в результате модифицирования, позволило повысить степень легирования некоторых сплавов и создавать новые высокопрочные и жаропрочные сплавы.

### **Литература**

1. Суслов А.Г. Направления работ Брянской технологической школы по решению проблемы «Обеспечения и повышения качества изделий машиностроения и технологической оснастки» // Справочник. Инженерный журнал. Приложение. – М.: Машиностроение, 2004. – № 11. – С. 2-5.
2. Киричек А.В. Повышение эффективности упрочняющих технологий // Справочник. Инженерный журнал. Приложение – М.: Машиностроение, 2004. – № 3. – С. 15-20.
3. СТАЛЬ. Научно-технический и производственный журнал. – М. Интермет Инжиниринг, 2007. – № 5. – С. 23.
4. Литейное производство / Под ред. И.Б. Куманина. – М.: Машиностроение, 1971. – С.20-21.
5. Лахтин Ю.М., Леонтьева В.П. Материаловедение. – М.: Машиностроение, 1972. – С. 28-41.
6. Отчет по теме исследования литья в тяжелом машиностроении и ее совершенствование / В.Р. Зарубина, Л.И. Наумова и др. – М.: НИИР, 1975. – 47 с.
7. Ультразвуковая технология / Б.А. Агранат, В.И. Башкиров и др. – М.: Металлургия, 1974. – С. 460-468.
8. Производство зубчатых колес: Справочник / Под ред. Б.А.Тайца. – М.: Машиностроение, 1975. – С. 49-50.

*Поступила в редакцию 30.05.2008*

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., директор В.К. Борисевич, МИНТ «ХАИ», Харьков.