

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ ПРИ ЛИТЬЕ С КРИСТАЛЛИЗАЦИЕЙ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ДЛЯ РАЗВИВАЮЩИХСЯ ОТРАСЛЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Денисов М.С.

*Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых, г. Владимир*

Ключевые слова: термо-механо-временная обработка, кристаллизация, давление, литье, управление, автоматизация, алюминиевые сплавы.

Аннотация. Установлено, что перспективным является термо-механо-временная обработка сплавов на основе алюминия. Наложение давления на жидкий металл до начала кристаллизации обеспечивает получение заготовок высокого качества без литейных дефектов с более высоким уровнем твердости и упругих свойств. Такие технологии могут найти свое применение в авиационной и космической технике. Установлено, что давление, накладываемое на жидкий металл, при производстве герметичных корпусных деталей и деталей газотехнического назначения, пневматических и гидравлических систем, должно быть в пределах 300...500МПа.

JUSTIFICATION OF TECHNOLOGICAL MODES OF PROCESSING METAL PRODUCTS IN INJECTION MOLDING WITH CRYSTALLIZATION UNDER PRESSURE FOR DEVELOPING INDUSTRIES

Denisov M.S.

*Vladimir state University named after Alexander Grigorievich and
Nikolai Grigorievich Stoletovs, Vladimir*

Keywords: thermo-mechanical-time processing, crystallization, pressure, casting, control, aluminum alloys.

Abstract. It is established that thermo-mechanical-time processing of aluminum-based alloys is promising. Applying pressure on the liquid metal prior to crystallization provides high-quality blanks without casting defects with a higher level of hardness and elastic properties. Such technologies will be used in aviation and space technology. It is established that the pressure applied to the liquid metal in the production of sealed housing parts and parts for gas engineering purposes, pneumatic and hydraulic systems, should be within 300 ... 500MPa.

Необходимость упрочнения конструкционных материалов обусловлена целым рядом причин, из которых на передний план в нынешних условиях необходимо поставить не достаточную эффективность базовых металлургических технологий, которые за предшествующие столетия не претерпели существенных изменений.

В представленной работе результаты исследований, выполненные автором, обобщены на основе формирующейся в настоящее время теории сложных систем.

Предложено процессы создания изделий из металлов и сплавов рассматривать как термо-мёехано-временную обработку, а изменения состояния металлических систем связывать не только с температурой, но и с давлением

(напряжениями), концентрацией компонентов, со временем, с энергией и др. параметрами.

Объектами исследования являются сложные процессы фазовых превращений и структурных изменений, протекающих в пространстве переменных состояний, автоматизация управления которыми преследует цель улучшить свойства массовой металлопродукции.

Известно, что в процессе кристаллизации слитка в изложнице возникают такие дефекты структуры как ликвация, рыхлота, пористость, крупные зерна, газовые и неметаллические включения. Наложение в процессе кристаллизации относительно невысокого давления 0,3...0,5 МПа влияние дефектов может существенно уменьшить.

При наложении давления 300...500 МПа, изменения в структуре происходят на более глубоком атомно-электронном уровне.

Исследования влияния давления на изменения объемных свойств выполнено на сплавах высокопрочного алюминия В95 и представлены на рисунке 1.

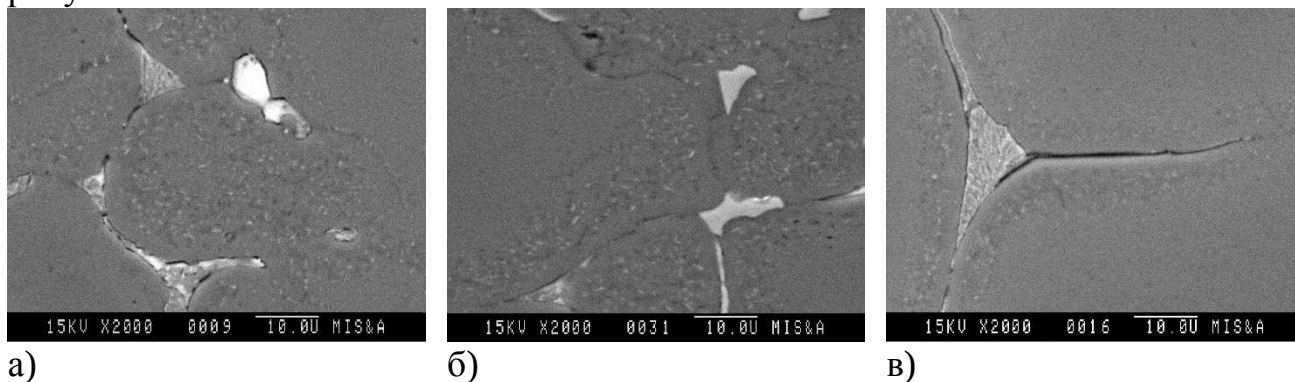


Рис. 1. Изменения объемных свойств высокопрочного алюминия В95 при литье с кристаллизацией под давлением, где
а) – без давления; б) – давление 300 МПа; в) – давление 500 МПа

Предпочтение этим сплавам отдано по соображениям обеспечения стойкости технологической оснастки. Кроме того, если ориентироваться на перспективу 10...15 лет, то высока вероятность, что в целях защиты экологии и ресурсосбережения, высокопрочные алюминиевые сплавы будут вытеснять такие конструкционные материалы как углеродистая сталь, чугун, бронза, латунь, титановые сплавы и др.

Известно [1], что упрочнение, достигаемое в процессе термообработки алюминиевых сплавов, принципиально отличается от упрочнения сталей как по технологии, так и по механизму формирования структуры.

Однако и в том, и в другом случаях – это термо-временная обработка. Механизм и кинетику упрочнения исследователи связывают с выделением избыточных фаз из пересыщенного твердого раствора меди в алюминии. Ни о каких напряжениях речи не идет. Упрочняющая фаза – метастабильная и при повторном нагреве структура приходит в равновесное состояние.

Обращают на себя внимание две особенности.

Первая – это то, что при быстром охлаждении удастся зафиксировать то взаимное расположение атомов, которое было при высокой температуре.

Вторая – и при комнатной температуре атомно-кристаллическая решетка остается «прозрачной» для диффузии атомов.

Причиной или термодинамической движущей силой в процессах, обуславливающих упрочнение, вероятно, является напряжения. Но в случае мартенсита эти напряжения изменяют параметр кристаллической решетки; кубическая объемно-центрированная решетка становится тетрагональной. Углерод зафиксирован в этой решетке, и его диффузия возможна при нагреве до температуры 150...200°C.

В алюминиевых сплавах пересыщенный твердый раствор сразу после закалки не отличается повышенной твердостью.

Что же касается движущей силы, ответственной за распад пересыщенного твердого раствора, то связать ее с напряжениями нет никаких оснований.

В мартенсите это чисто механические силы, распирающие кристаллическую решетку изнутри. Аналогией может быть железобетон, сжатый изнутри предварительно растянутый арматурой.

Напряжения в пересыщенном твердом растворе меди в алюминии проявляются в том, что, стремясь к равновесному состоянию, система управляет массопереносом. В данном случае атомы меди движутся к границам зерен. Поскольку по границам зерен плотность дефектов кристаллического строения выше по сравнению с центром зерна, закон равновесия концентраций, вероятно, нарушается. По границам зерен равновесная концентрация атомов Cu может быть выше, по сравнению с таковой внутри зерна, где дефектов меньше, и потому в результате стока атомов по границам зерен α – твердого раствора образуются слои из атомов Cu называемые зонами Гинье-Престона, когерентно связанные с основным металлом.

Можно указать и на другие возможности упрочнения алюминиевых сплавов.

Так, в работе [2] рассмотрен вариант упрочнения квазикристаллами.

В промышленной практике высокие результаты достигнуты в направлении формировании структур, армированных интерметаллидами.

Сравнивая между собой упрочнение сталей и алюминиевых сплавов, следует отметить, что в алюминиевых сплавах решающее значение приобретает выбор состава сплава, в то время как упрочнение сталей зависит еще и, например, от степени пластической деформации.

Следовательно, к вышеперечисленным факторам, определяющим состояние обрабатываемого сплава, его упрочнение, следует добавить фактор технологии (ФТ).

Этот фактор обладает свойством быть измеренным такими параметрами как температура, давление, время или быть представленным функциями температуры от времени или давления от времени.

Подводя итог анализу состояния теории термо-механо-временной обработки, следует обратить внимание, что, с точки зрения упрочнения массовой металлопродукции, основным направлением остается термо-временная обработка. Варьирование температурой и скоростью нагрева-охлаждения создает достаточно широкие возможности для изменения состояния обрабатываемых

сплавов и при этом обеспечить оптимальное сочетание физико-механических свойств при минимальных затратах на технологическое сопровождение.

Синергетические эффекты совместного воздействия температур и напряжений никак не вписываются в рамки сформировавшихся теорий, а их исследованию уделяется незаслуженно мало внимания.

Развитие теории, если и происходит, то в основном в направлении накопления информации, ее интерпретации без попыток обобщения в рамках формирующейся теории сложных систем [3,4].

В этом смысле обрабатываемый материал, если его рассматривать как объект управления, представляет собой «черный ящик», у которого есть входные воздействия и выходные параметры в виде тех или иных свойств, а процессы, протекающие под влиянием входных воздействий и внешних возмущений на протяжении долгого времени остаются не изученными. По этой причине металлопродукцию вправе относить к классу сложных объектов со скрытыми свойствами [5,6].

В то же время состояние и уровень современной автоматизации, располагающей программно-техническими комплексами для сбора, хранения и обработки информации, позволяют осуществлять управление технологическими процессами по принципу с обратной связью в режиме реального времени [7].

Это открывает новые возможности для повышения эффективности производственных процессов на основе новых знаний и новых инновационных идей.

Выводы

1. Применяемые в настоящее время в промышленности технологии упрочнения изделий из металлов и сплавов связаны в основном с термической обработкой. В то же время известно достаточно много вариантов упрочнения, когда, наряду с чисто термическим воздействием, на эффективность упрочнения прямое и непосредственное влияние оказывают факторы внешнего воздействия. Речь идет о и литье с кристаллизацией под давлением.

В теоретическом плане новые, прогрессивные процессы изучены недостаточно, а направления дальнейших исследований не определены.

2. Обращает на себя внимание тот факт, что протекание фазовых превращений и структурных изменений в условиях одновременного влияния температур и напряжений, сопровождается изменениями механизма и кинетики, что не находит объяснения ни с позиций термодинамики равновесных фазовых превращений, ни с позиций термодинамики реальных, обратимых процессов.

Исследования процессов термо-механо-временной обработки следует проводить, опираясь на положения формирующейся в настоящее время теории сложных систем, теории наноструктурированных материалов и др.

3. Дальнейшее развитие технологий может быть связано с разработкой систем автоматического и автоматизированного управления изменением состояния обрабатываемого материала в пространстве переменных состояний по определенному закону или по определенной траектории.

Исследования в направлении объемного упрочнения сплавов необходимо проводить с целью обоснования параметров траекторий, обеспечивающих

перевод рассматриваемых металлических систем в конечное (терминальное) состояние с требуемым сочетанием прочности и др. физико-механических свойств.

Список литературы

1. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСиС, 1999. – 416 с.
2. Качак В.В., Коростелев В.Ф., Хромова Л.П. Нанотехнологии и упрочнение сплавов. – М.: Новые технологии, 2011. – 240 с.
3. Арзамасов Б.Н., Мухина Г.Г. Материаловедение: учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 648с.
4. Семёнов Б.И., Куштаров К.М. Современные тенденции совершенствования технологий заготовительных производств // Металлургия машиностроения. 2003. № 2. С. 29-40; № 4. С.26-31.
5. Денисов М.С. Автоматизированная система программного управления процессом наложения давления на жидкий и кристаллизующийся металл // Автоматизация. Современные технологии. 2020. №5. С. 234-240.
6. Денисов М.С. Управление процессом формирования свойств литых заготовок из сплава В95 в процессе опрессовки кристаллизующегося металла давлением // Вестник МГТУ «СТАНКИН». 2020. №1(52). С. 38-45.
7. Denisov M. Development of Computerized Control System for Applying Pressure to Liquid and Crystallizing Metal // Proceedings – 2020 International Russian Automation Conference, RusAutoCon 2020, 9208166. P. 110-114.

Сведения об авторе:

Денисов Максим Сергеевич – к.т.н., доцент кафедры «Автоматизация, мехатроника и робототехника», ВлГУ, г.Владимир.