

А.И. Семенченко, канд.техн.наук, ст.науч.сотр., Н.К. Злочевская², асист., А.Г. Вернидуб¹, инж.,
Л.К. Шеневидько¹, науч.сотр.

1 – Физико-технологичный институт металов и сплавов НАН Украины, г. Киев, Украина

2 – Национальный технический университет Украины "КПИ", г. Киев, Украина

ИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ПРЕССОВАНИЕ ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА АК7Ч

Разработана математическая модель контакта индентора с поверхностью детали, которая позволяет установить взаимосвязь между вариативными параметрами взаимодействия индентора и поверхности детали – скорости и усилия обработки, и упругопластической деформации поверхностного слоя детали. Разработанная математическая модель позволяет оптимизировать режимы обработки путем расчета оптимальной удельной работы деформирования поверхностного слоя детали.

The mathematical model of contact between indenter and surface of detail was developed. The model allows to establish a relationship among variational parameters of the interaction of an indenter and a surface of detail – the velocity and the force of the process, and an elastoplastic deformation of the surface layer of detail. The developed mathematical model allows to optimize process conditions by means of the calculation of the optimal specific work of surface layer deformation

Литейные алюминиевые сплавы представляют собой наиболее развиваемый сегмент рынка конструкционных материалов.

В 60-е годы прошлого века были выдвинуты концепции перехода на выпуск экономичной подвижной техники из легких сплавов с большим безремонтным ресурсом на базе резкого расширения производства алюминия, магния, титана, что позволяет на порядок сократить расходы на ремонт и вдвое – на горючее, повысить грузоподъемность, понизить износ шин и эксплуатационные расходы. На основании таких экономических стимулов и резкого ужесточения экологического законодательства выпуск отливок из алюминиевых сплавов во второй половине XX столетия прошлого века в странах шестерки (США, Япония, Великобритания, Германия, Франция и Италия) вырос более чем в 13 раз. И в настоящее время это превышение колеблется уже от двух с половиной раз в США до примерно четырехкратного в Германии и Франции, шестикратного в Японии и 11 раз в Италии [1].

Существующая тенденция по расширению областей применения литых деталей объясняется многими специфическими преимуществами эксплуатационных свойств литых заготовок, универсальностью и экономичностью методов формообразования, возможностью получения чрезвычайно сложных изделий с максимальным приближением размеров отливок к конфигурации и размерам готовых деталей.

В то же время недостаточная стабильность физико-механических и эксплуатационных свойств литых деталей, изготовленных традиционными методами литья, а также отсутствие в этом случае гарантированной изотропии свойств, особенно при литье сложных фасонных отливок с большими перепадами толщин в различных их сечениях, вынуждают конструкторов при разработке ответственных изделий зачастую отдавать предпочтение использованию заготовок из деформированного металла.

Традиционные методы повышения уровня и изотропии свойств литого металла путем его легирования и модифицирования приводят к значительному снижению литейных характеристик сплавов. В результате преимущества литья, как способа формирования заготовок, в значительной степени утрачиваются.

Решение этой проблемы при одновременном снижении материальных и энергетических затрат может быть достигнуто за счет использования деформационной обработки литых заготовок.

Как известно, во времена существования СССР значительную часть алюминиевого литья, особенно для изделий ответственного назначения, изготавливали только из первичных алюминиевых сплавов. В настоящее время для условий Украины такой подход к использованию алюминиевых сплавов является слишком дорогим удовольствием, требующим больших валютных затрат на приобретение рудного сырья и 20-30-кратного превышения энергетических затрат на выплавку первичного алюминия из этого сырья вместо производства алюминиевых сплавов из вторичных сырьевых ресурсов. При этом для производства 1 т первичного алюминия требуется в 2,4 раза больше шихтовых материалов, что определяет также 1,5 кратное превышение себестоимости [2]. Кроме этого, в результате такого резкого увеличения расхода электроэнергии и объема используемых шихтовых материалов значительно возрастает нагрузка на экологию в районах соответствующих металлургических производств.

Вместе с тем при выплавке алюминиевых сплавов из вторичных сырьевых материалов серьезной проблемой является присутствие в них значительного количества металлических примесей, которые резко снижают свойства литого металла за счет образования интерметаллидных фаз.

Наиболее вредной примесью для большинства литейных алюминиевых сплавов является железо, увеличение содержания которого уже до 1 % сопровождается, как правило, снижением предела прочности на разрыв в 1,2-1,5 раза и относительного удлинения в 1,6-3,0 раза.

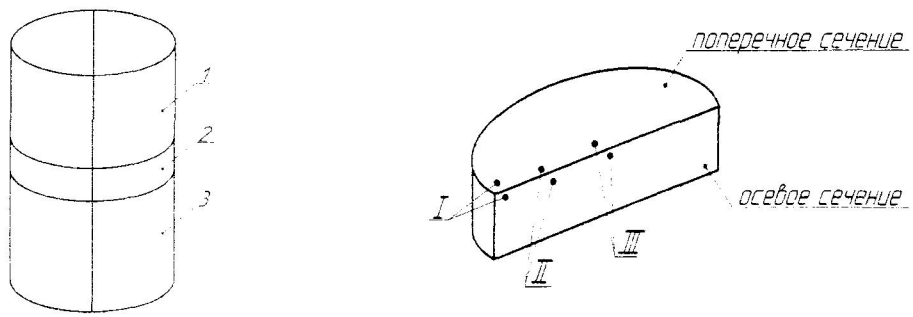


Рис. 1. Схема вырезки темплета для металлографических исследований
 а – опытный образец; б – темплет для металлографических исследований
 I, II, III – расположение областей для анализа структуры металла

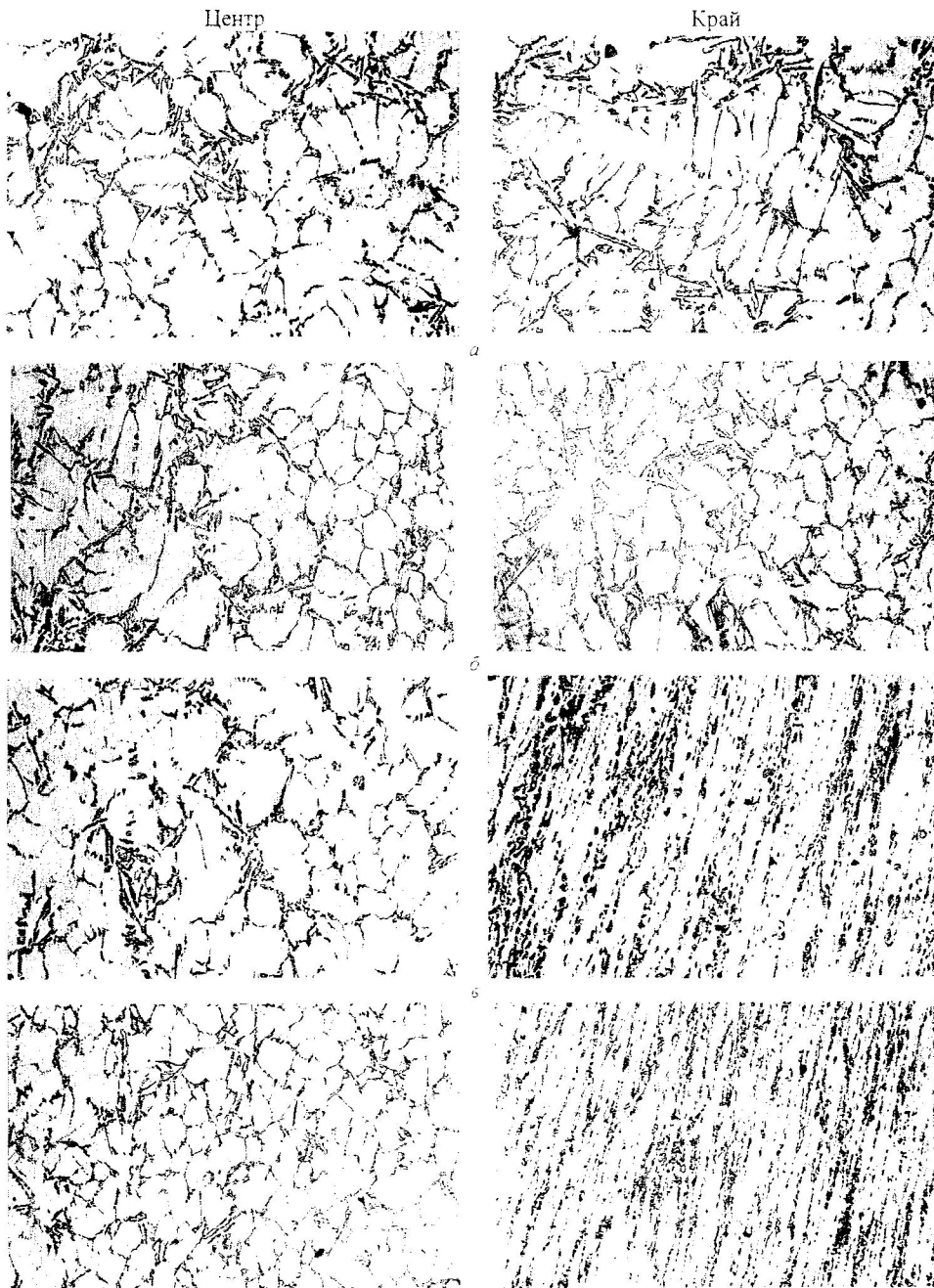


Рис. 2. Влияние ИПД обработки литых образцов из сплава АК7ч на структуру металла в осевой плоскости темплета
 а, б, в, г – количество циклов обработки 0, 1, 2 и 3 соответственно

Примеси железа повышают степень физической неоднородности структуры литых заготовок, значительно увеличивается объем междендритной пористости, резко снижается коррозионная стойкость металла. Измельчение включений железосодержащих интерметаллидов и более равномерное их перераспределение в объеме металла отливки способствует существенному уменьшению их негативного влияния на качество и свойства полученного на базе вторичного сырья литого металла.

Поэтому, согласно интенсивно развиваемой в настоящее время теории структурной наследственности, в системе шихта – расплав – отливка эффективным решением проблемы нейтрализации вредного влияния примесей железа в алюминиевых сплавах может служить специальная твердофазная деформационная обработка шихтовых металлов [3].

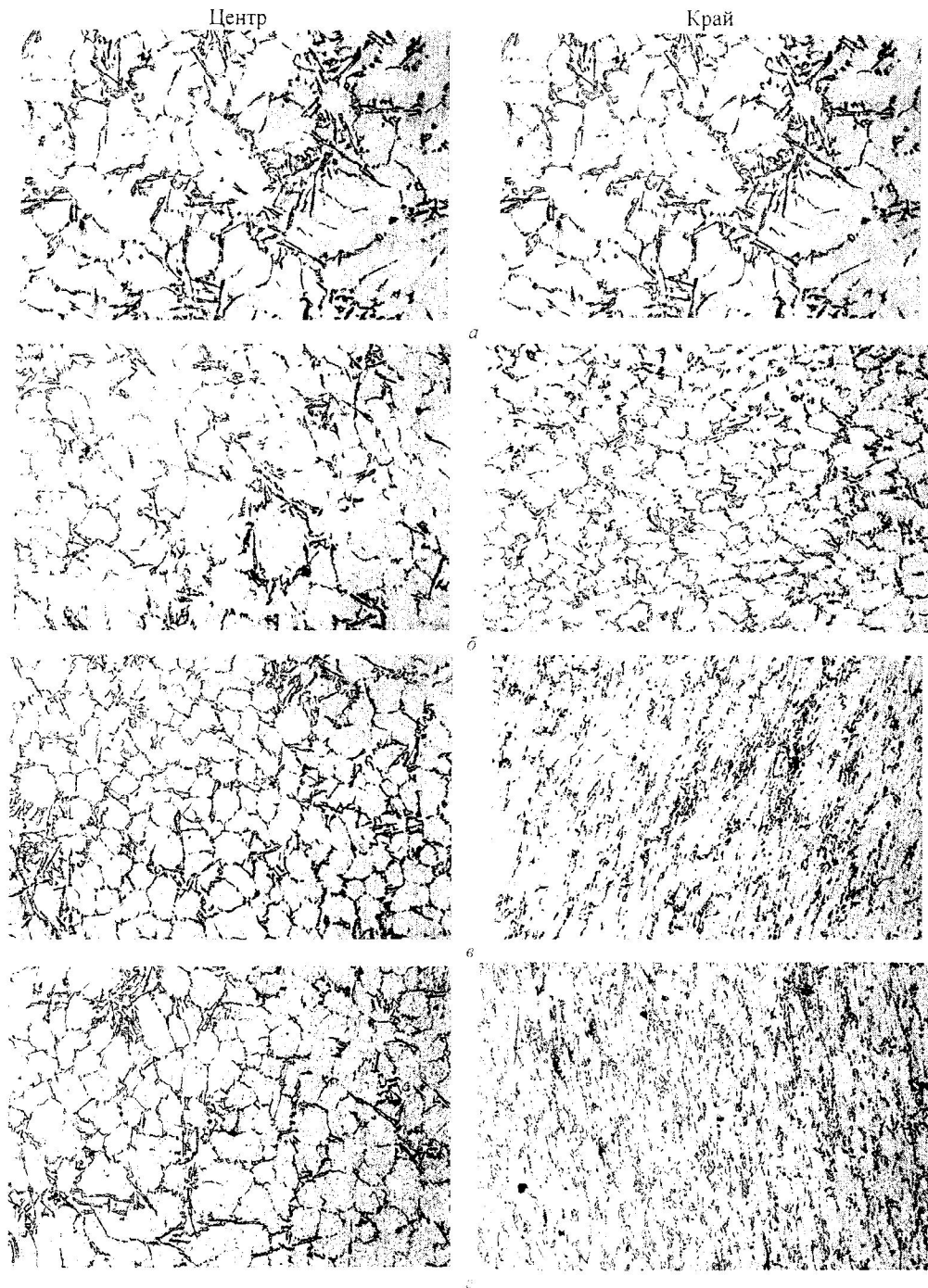


Рис. 3. Влияние ИПД обработки литых образцов из сплава АК7ч на структуру металла в поперечной плоскости темплата
а, б, в, г – количество циклов обработки 0, 1, 2 из соответственно

Целью настоящего исследования является определение влияния интенсивного пластичного деформирования (ИПД) на структуру литого металла. В качестве объекта исследования выбран литейный алюминиевый сплав АК7ч (аналог наиболее популярного в мировой практике сплава А356 маркировки Алюминиевой ассоциации США).

Предельное содержание железа в сплаве по требованиям стандарта не должно превышать 0,6 % при литье в песчаные формы и 1,0 % при литье в кокиль.

Расплав выплавляли из вторичных шихтовых материалов в лабораторной печи сопротивления. Заливку жидкого металла для получения опытных образцов диаметром 29,5 мм и высотой 110 ± 5 мм осуществляли в тонкостенную литейную форму, изготовленную из алюминиевой фольги. Температура заливки равнялась 640 °С. Тепловые условия затвердевания металла соответствовали литью в песчаные формы. Поэтому содержание массовой доли примеси железа в пределах 0,8 % в металле опытных образцов несколько превышает требования ДСТУ 2839-94.

После порезки отливок на заготовки высотой 50 мм проводили их изотермическое прессование на установке для процессов ИПД.

После проведения испытаний из центральной по высоте каждого образца зоны вырезали темплет толщиной 10 мм (рис. 1), которые для проведения металлографических исследований полировались в двух плоскостях по осевому и поперечному сечениям.

Результаты влияния деформационной обработки (до трех циклов) на структуру образцов из сплава АК7ч представлены на рис. 2 и 3.

Исходные литые заготовки были получены литьем в специальные формы, с пониженной скоростью охлаждения ($0,3 \text{ } ^\circ\text{C}/\text{с}$ в интервале кристаллизации первичных кристаллов α -твердого алюминиевого раствора). Структура этих образцов состоит в основном из первичных дендритов алюминиевого твердого раствора и участков алюминиево-кремниевой эвтектики, а также пластинчатых кристаллов железистых интерметаллидных фаз. Первичные кристаллы α -твердого алюминиевого раствора имеют дендритную морфологию и размеры порядка 1-2 мм. Участки Al-Si эвтектики имеют преимущественно вырожденный характер. Эвтектический кремний, имея вид грубых пластин, располагается в основном в междендритном пространстве α -Al первичных кристаллов.

При пластической деформации литых образцов наблюдается существенное изменение параметров структуры сплава АК7ч. После однократной деформации структура фазовых составляющих начинает приобретать более компактные формы. В результате деформационной обработки происходит измельчение зерен дробления структурных составляющих и очистка границ. При данном способе обработки степень трансформации кристаллической структуры возрастает от центра к боковой поверхности образца, где средний размер зерна уменьшается примерно вдвое.

В периферийной зоне в образцах уже после 2-х кратного деформационного воздействия наблюдается характерная деформированная зона толщиной примерно 5 мм. Анализ поперечных и продольных сечений показал, что первичные α -Al кристаллы этой зоны приобретают волокнистую (слоистую) структуру вдоль главных направлений действующих сил деформации. При этом пластическая деформация первичных Al зерен сопровождается измельчением и выстраиванием в ряды кристаллов эвтектического кремния и железистых интерметаллидов вдоль главной оси деформации, соответственно между волокнами зерен алюминиевого твердого раствора.

В результате 3-х кратного деформационного воздействия толщина периферийной зоны слоистой структуры увеличивается от 5 до 7 мм, что соответствует примерно 70 % площади поперечного сечения опытного образца. Зона центральной части заготовок также постепенно приобретает формы слоистой «пирог», но значительно в меньшей степени, чем в периферийной зоне. После 3-х кратной деформации дисперсность структуры центральной зоны возрастает примерно в 2-3 раза в осевой плоскости шлифа и в 3-4 раза в поперечной плоскости.

Выводы.

1. Показано, что в результате деформационной обработки методом изотермического прессования литейного алюминиевого сплава АК7ч с повышенным содержанием примеси железа до 0,8% происходит дробление структурных составляющих и их равномерное распределение в объеме материала. При этом возрастают прочностные и пластические свойства сплава.

2. В результате ИПД обработки литых заготовок из сплава АК7ч происходит деформационное дробление структурных составляющих, измельчение зерен α -твердого раствора алюминия и очистка их границ. При последующем цикле обработки дендритная морфология первичных кристаллов в периферийной зоне приобретает волокнистую структуру, а кристаллы эвтектического кремния и железистых интерметаллидов дробятся и выстраиваются вдоль главной оси деформации. А после третьего цикла обработки такая деформация литой структуры распространяется на 70 % объема опытного образца. Следовательно, ИПД обработка решает поставленную задачу повышения уровня дисперсности и однородности структуры металла.

3. Кроме того, ИПД обработка может быть рекомендована для разработки технологии получения дендритной структуры в заготовках для тиксолия методом «механического» модифицирования.

Список литературы

1. Гини Э.Ч. Литейное производство в 20 веке. Анализ итогов. Литейное производство – 2002. - №7 – С. 6-8.
2. Пригунова А.Г., Белов Н.А., Таран Ю.Н., Золоторевский В.С., Напалков В.И., Петров С.С. Сидумини. Атлас микроструктур и фактограмм промышленных сплавов: Справочник - М.: МИСИС, 1966. - 175 с.
3. Шикитин В.И. Наследственность в литых сплавах. – Самара: Самарское гос. ун-т, 1995. – 248 с.