

А. А. АНДРУШЕВИЧ, НИИИП с ОП

ВЛИЯНИЕ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ НА СВОЙСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ ЛИТЕЙНЫХ СПЛАВОВ

УДК 621. 74: 669.71

Структура и свойства металлов и сплавов, подвергнутых динамическим и статическим воздействиям, существенно различаются [1]. При динамическом взрывном нагружении изменения структуры происходят на субмикро-, микро- и макроуровне, приводя к формированию метастабильного состояния и субструктуры дефектов, за очень малый временной интервал.

Представляет интерес рассмотреть возможность совмещения динамического нагружения с известными операциями физико-химической обработки металлов, например литьем. Однако в этом случае возникает ряд вопросов, ответить на которые на данном уровне развития науки невозможно. В частности, фундаментальной проблемой является вопрос возможности сохранения наследственности, полученной в результате динамического нагружения — изменений в структуре после прохождения превращений металла в диапазоне “ликвидус—солидус” при плавлении и последующем затвердевании. При получении экспериментальных подтверждений сохранения такой наследственности появляется возможность сформировать новое научное и практическое направление в литейном материаловедении.

Получение качественного литья с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами возможно в случае передачи структурно накопленной информации от мелкокристаллической шихты через жидкое состояние при переплаве и кристаллизации к отливке. Необходимая наследственность может быть получена в результате определенного физико-химического воздействия на шихту в твердом и жидком состояниях [2].

При использовании энергии взрыва на обрабатываемый материал действуют сверхвысокие импульсные нагрузки за очень короткие промежутки времени, приводя к перестройке его структуры. Особенно импульсной обработкой является возникновение очень больших сжимающих давлений, которые ведут к структурным изменениям, причем чем больше скорости нагружения, тем они существеннее, а также к повышению физико-механических свойств материала, в частности увеличению твердости.

Известно, что литая структура отличается высокой устойчивостью к сохранению наследственно-

сти [3]. При нагружении исходного металла энергией взрыва в нем возникает “специфическое упрочнение”, вызванное “множественным искажением” структуры при давлениях в десятки килобар [1]. Упрочненный материал отделен от неупрочненного только фронтом ударной волны. Прохождение фронта вызывает сильные деформации решетки и большие напряжения сдвига. Для каждого конкретного материала существует свой интервал давлений, обеспечивающий повышение твердости. Нижняя граница определяется динамическим сопротивлением сдвигу и началом фазовых переходов, а верхняя граница — тепловой составляющей давления, приводящей к отжигу дефектной структуры.

В некоторых работах отмечается отсутствие формоизменения зерен при упрочнении ударными волнами [4]. Реально динамическое упрочнение носит сложный характер и является многофакторным процессом, включая локальные отжиги. Поэтому попытки найти универсальную зависимость упрочнения от динамики нагружения оказались безуспешными [5]. В ходе нагружения в материалах могут протекать фазовые превращения, а также упорядочивание структуры. В частности, было доказано, что возникающее упрочнение при более низких давлениях может быть выше, чем при высоких значениях [6].

Динамическое воздействие наряду с процессом упрочнения может приводить к образованию микро- и макротрещин, в том числе откольных [7]. Экспериментальные исследования показали, что распределение элементов структуры по скоростям может иметь широкий диапазон. Поэтому наряду с упрочнением металлов под действием взрыва возможно разупрочнение.

Процессы динамического воздействия энергии взрыва на литые металлы мало изучены, несмотря на большую вероятность получения неизвестных практических результатов, в том числе при совмещении операций динамического нагружения и литейно-металлургического передела.

В работе рассматривали влияние взрывной обработки при разделке алюминиевого лома (блоки, картера, головки двигателей и др.) на качество и свойства приготавливаемых сплавов. Использовали отливки из сплавов АК5М2 и АК9ч по ГОСТ 1583—93. При использовании в шихте до 90% лома ориентирова-

лись на получение химического состава указанных сплавов. Плавки проводили в индукционных печах ИСТ-016 с графитовым тиглем ТГ-100. Температуру расплава контролировали термопарой ХА на приборе КСП-3. Заливку подготовленного металла для получения плит размерами 300×400×20 мм, массой ~ 5 кг производили в стальные окрашенные кокиля при температуре 710—720 °С. Дробление осуществляли бризантными взрывчатыми веществами (аммонит №6 ЖВ) в диапазоне давлений до 20 ГПа со следующими параметрами: скорость детонации— 3,6—4,8 км/с, теплота взрыва — 4320 кДж/кг, масса заряда аммонита составляла 400 г. Схема дробления представлена на рисунке.

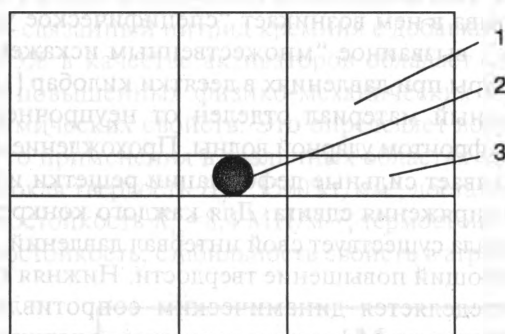


Схема разделки алюминиевого лома: 1 — алюминиевая плита; 2 — электродетонатор; 3 — заряд взрывчатого вещества

Остаточную температуру лома после разгрузки оценивали контактным методом термопарой ХК с помощью переносного прибора “Ватра”.

Механические свойства определяли на образцах, вырезанных из литой заготовки вблизи разлома. Использовали три образца на один замер. Предел прочности и относительное удлинение определяли на универсальной разрывной машине “Instron-1195” (нагрузка — 1000 кг), твердость по Бринелю измеряли на автоматическом рычажном прессе при нагрузке 1000 кг, диаметр шарика — 10 мм.

При разделке лома деформация алюминиевых отливок практически не наблюдалась. Пластичность алюминиево-кремниевых сплавов в исходном состоянии не превышала 1—3 %. В отличие от статической нагрузки, например при дроблении шихты на

гидравлическом прессе с усилием 400 т, при динамическом нагружении наблюдали локальные трещины, которые не развивались в объем металла. В случае увеличения зарядов взрывчатого вещества до 1 кг происходило разрушение исходных заготовок на мелкие куски (< 5—10 мм).

Остаточная температура кусков раздробленной шихты в среднем составляла 110—120 °С, однако с увеличением силы взрыва температура возрастала до 180—200 °С.

Предварительное изучение механических свойств сплава АК9ч в нетермообработанном состоянии после ударного нагружения без последующего переплава показало, что по сравнению с исходным состоянием предел прочности увеличился от 161,2 до 195,7 МПа (на 21%), относительное удлинение снизилось с 4,8 до 3,2%, а твердость увеличилась от 54,8 до 105 (в 1,9 раза). В структуре обнаружено некоторое измельчение зерна α -твердого раствора.

Изменения механических свойств сплава АК5М2 по различным вариантам статической и динамической обработки приведены в таблице.

При сопоставлении полученных значений предела прочности, относительного удлинения и твердости (НВ) видно, что предварительное взрывное нагружение при дроблении лома приводит к незначительному повышению предела прочности и существенному увеличению относительного удлинения до 1,25% (в 3 раза). Эти изменения были устойчивыми. Сохранение повышенных значений прочности и пластичности выявлено после комплексной динамической обработки и литейного переплава, что можно объяснить сохранением накопленной структурной наследственности за счет измельчения структуры и повышения дисперсности включений, в частности фазы CuAl_2 . Анализ микроструктуры сплава АК5М2 после данной обработки показал измельчение эвтектической составляющей $\alpha + \text{Si}$ и ее перераспределение в α -твердом растворе с одновременным уменьшением в 2,5 — 3,0 раза количества и размеров включений CuAl_2 .

При анализе этих результатов необходимо учитывать специфику схемы дробления взрывом (см. рисунок).

Механические свойства сплава АК5М2 при статическом и динамическом нагружении

Вид обработки шихты	Переплав, литье в кокиль	Механические свойства			Примечание
		предел прочности, МПа	относительное удлинение, %	твердость НВ	
Без обработки	—	125,0	0,5	65,0	Лом, исходное состояние
Без обработки	+	165,7	0,5	84,9	
Статическая на гидропрессе (усилие 400 т)	+	172,0	0,4	85,7	
Динамическая, энергия взрыва	—	177,0	0	95,0	Без переплава
Динамическая, энергия взрыва	+	181,0	1,25	85,0	
Без обработки	+	160,0	0,5	65,0	По ГОСТ 1583-93

Примечание. Химический состав сплава АК5М2: Si — 5,9 — 6,0%; Mg — 0,5 — 0,6; Mn — 0,21 — 0,31; Cu — 2,2 — 2,4; Fe — 0,8; Zn — 0,5 — 0,6%; остальное — Al.

Значительное повышение мгновенной температуры, сопровождающее ударное воздействие волны на алюминиевый лом в зоне воздействия и сохраняющееся очень непродолжительное время, существенно отличается от значений остаточных температур, которые находятся ниже величин температур фазового превращения в твердожидкое состояние. Заметных областей оплавления отдельных кусков шихты, а также структурных составляющих алюминиевых сплавов АК9ч и АК5М2 при металлографических исследованиях не обнаружено.

Известно, что при ударно-волновом нагружении металлических заготовок по локальным зонам в преграде реализуются области различного давления [8]. Соответственно этому в разных областях формируются структуры, отличные друг от друга. Оценка использованной для дробления алюминиевых деталей схемы показывает, что область высокого давления не превышает 10—15% от всего переплавляемого материала. Поэтому целесообразно предположить, что 0,1—0,2 мас. % переплавленного сплава АК5М2 за счет сохранения наследственности послужил в качестве лигатуры для остального сплава. Именно за счет этого были достигнуты зафиксированные изменения свойств. Отсутствие пластичности только после взрывного нагружения связано с образованием локальных микротрещин.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

- обнаружено влияние динамического дробления взрывом алюминиевого лома на механические свойства и структуру алюминиевых сплавов после литейно-металлургического передела в результате сохранения наследственности;

- показана целесообразность динамической обработки для улучшения характеристик литейных сплавов на примере сплава АК5М2, особенно при использовании металлоотходов алюминиевого лома и бракованных деталей.

Дальнейшее изучение динамического взрывного нагружения позволит управлять технологическими параметрами импульсной обработки металлов и расширит области ее применения в производстве качественного литья.

Литература

1. Д е р и б а с А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, 1972.
2. Н и к и т и н В. И. Наследственность в литых сплавах. Самара, 1995.
3. Л и п ч и н Т. Н. Исследование свойств закристаллизовавшихся под давлением сплавов после переплавов // Литейное производство. 1995. №1. С.13.
4. К о з о р е з о в К. И., М и х а й л у Г. И., С к у г о р о в а Н. Ф., М и р к и н Л. И. Исследование физических параметров определяющих упрочнение стали Г-13Л ударными волнами // Теория и практика высокоскоростной деформации металлических материалов. М., 1971. С. 30—31.
5. Д е р и б а с А. А., Н е с т е р е н к о В. Ф., Т е с л е н к о Т. С. Универсальная зависимость параметров упрочнения металлов от интенсивности ударно-волнового воздействия // Физика горения и взрыва. 1982. Т. 18, № 6. С. 68—73.
6. Г у б а р е в а Н. В., К и с и л е в А. Н., С о б о л е н к о Т. М., Т е с л е н к о Т. С. Структура и свойства металлов после многократных ударных нагружений // Физические проблемы импульсной обработки металлов и сплавов. Куйбышев, 1988. С. 99—107.
7. Д и д ы к Р. Р., К о з о р е з о в К. И. Условия образования субмикротрещин при ударно-волновой обработке металлов // Физика горения и взрыва. 1995. Т. 31, № 1. С. 134—137.
8. У ш е р е н к о С. М. Сверхглубокое проникание частиц в преграды и создание композиционных материалов. Мн., 1998.