

Судостроительная промышленность. Серия: Материаловедение, 1992, №16, С.52-55.

А.С. Анищенко, А.П. Андриющенко, А.Б. Добычин, Д.И. Чашников

Изотермическое деформирование литых заготовок

из марганцево-медного сплава «Аврора»

1. Введение

Известные в литературе [1, 2] характеристики деформируемости высокодемпфирующего сплава «Аврора» не могут дать полного представления о его технологичности, поскольку были получены применительно к традиционным высокоскоростным процессам обработки давлением.

Производственный опыт показывает, что марганцево-медные сплавы весьма чувствительны к скоростному упрочнению при формоизменении: с повышением скорости деформации катастрофически теряют пластичность. Особенно это относится к сплавам системы $Mn - Cu$, дополнительно легированным другими металлами [3]. Поэтому все более широко применяются процессы изотермического деформирования [4], позволяющие за счет постоянства температуры деформации и пониженных ее скоростей практически полностью устранить скоростное и деформационное упрочнение обрабатываемых металлов, существенно повысить их пластические характеристики. Преимущества формоизменения в изотермических условиях в наибольшей степени проявляются для сплавов, имеющих полиморфные превращения [5].

В сплаве «Аврора» в зависимости от температуры нагрева фиксируются превращения 1 и 2-го рода [1]. Кроме того, в работе [6] на диаграммах сплавов системы $Mn - Cu$ обнаружены новые линии превращений, которые были выявлены при сверхпластической деформации образцов. Приведенные сведения послужили основанием для исследования поведения сплава «Аврора» в условиях изотермического деформирования.

Цель настоящей работы – определить температурно-скоростные и силовые параметры формоизменения сплава «Аврора» в изотермических условиях, близких к режимам сверхпластичности.

1. Материал и методика исследований

Исследования проводили на примере изотермической осадки сплава «Аврора» в литом состоянии. Сплав выплавляли в открытой индукционной печи и разливали в слитки размерами 50x100x240 мм (без учета прибыльной части). Затем слитки на станке анодно-механической резки раскраивали на бруски сечением в форме квадрата со стороной 25 мм, из которых вырезали цилиндрические образцы размерами Ø20x30 мм.

Эксперименты по свободной осадке в изотермических условиях производили в режиме сухого трения на испытательной машине 1231У-10, оснащенной электропечью, тремя хромель-алюмелевыми термопарами, подключенными к потенциометру КСП-3, силоизмерителями на максимальные усилия 10 и 100 кН и реверсором из жаропрочных никелевых сплавов ЭИ698ВД и ЭИ868ВД.

Образцы устанавливали в реверсор, расположенный в электропечи, нагревали в течение 4-8 ч до требуемых температур, осаживали, затем, согласно требованиям техники безопасности, охлаждали с печью 3-7 ч до температур 150-200 °С и извлекали из реверсора.

По диаграмме усилие-перемещение рассчитывали давление осадки p и логарифмическую деформацию δ :

$$p = \frac{P}{F};$$
$$\delta = \ln \frac{H_0}{H},$$

где P – сила осадки, МН;

F – площадь торцевой поверхности поковки, м²;

H_0 – исходная высота заготовки, мм;

H – высота осаженного образца, мм.

В связи с тем, что силовые и деформационные характеристики сплава при скоростях деформации свыше 1 с⁻¹ достаточно изучены в работе [2], для экспериментов был выбран диапазон скоростей деформирования V ,

соответствующий степени деформации образцов в интервале $\xi = (10^{-5}-10^{-3}) \text{ с}^{-1}$, т. е. $V = 0,02; 0,2; 2 \text{ мм/мин.}$ По каждому режиму деформирования испытывали три образца. За конечный результат принимали среднее арифметическое результатов трех опытов.

Структурное состояние образцов до и после деформирования изучали на микроскопе МИМ-8. Границы зерен выявляли методом травления в реактиве состава: $10 \text{ г } FeCl_3 + 30 \text{ мл } HCl + 120 \text{ мл } H_2O$. Размер зерна определяли по ГОСТ 5639-82. Температурный диапазон испытаний выбирали с учетом рекомендаций в работе [2] ($700-850 \text{ }^\circ\text{C}$), а также на основе анализа дилатометрических кривых в работе [7], нелинейный характер которых наиболее выражен при $450-700 \text{ }^\circ\text{C}$.

Поскольку в работе [7] сплав «Аврора» исследовали в деформированном состоянии, нами были проведены дополнительные исследования литых и горячекатанных образцов $\text{Ø}11 \times 65 \text{ мм}$ на дилатометре «Бауэрвайс». В результате был определен явно выраженный максимум коэффициента линейного расширения для образцов обоих типов в интервале температур $20-570 \text{ }^\circ\text{C}$ и $20-600 \text{ }^\circ\text{C}$, что позволяет предположить наличие интенсивных превращений в структуре сплава при $570-600 \text{ }^\circ\text{C}$ и, следовательно, вероятность сверхпластичности в деформируемых образцах [8]. В связи с изложенным были выбраны следующие температуры испытаний: $570, 670, 750, 800$ и $850 \text{ }^\circ\text{C}$.

2. Результаты и их обсуждение

Как показала изотермическая осадка образцов (см. рис.1), сплав «Аврора» при $T = 750 \text{ }^\circ\text{C}$, $V = 2 \text{ мм/мин.}$ и $\delta < 0,2$ ведет себя по классическим законам упрочнения металлов, т.е. давление осадки непрерывно растет с увеличением δ , достигая максимума при $p = 240 \text{ МПа}$ при $\delta = 0,22$. Дальнейшая осадка выявила тенденцию к снижению p , однако при $\delta = 0,32$ общая сила осадки достигла максимума (100 кН), и процесс пришлось прекратить. Снижение скорости деформирования в 10 и 100 раз обусловило соответственно двух- и четырехкратное снижение давления осадки на ее начальных стадиях. Максимум p сместился в сторону меньших значений деформации ($\delta = 0,10$ и $0,06$ соответственно), после чего давление осадки с ростом δ монотонно снижалось, причем с большей интенсивностью при $V = 0,2 \text{ мм/мин.}$, чем при

$V = 0,02$ мм/мин. На боковых поверхностях осаженных образцов образовалась сетка мелких трещин, признаков сверхпластичности не наблюдалось. Таким образом, несмотря на наличие превращения в сплаве технологических преимуществ осадки при 570°C установлено не было.

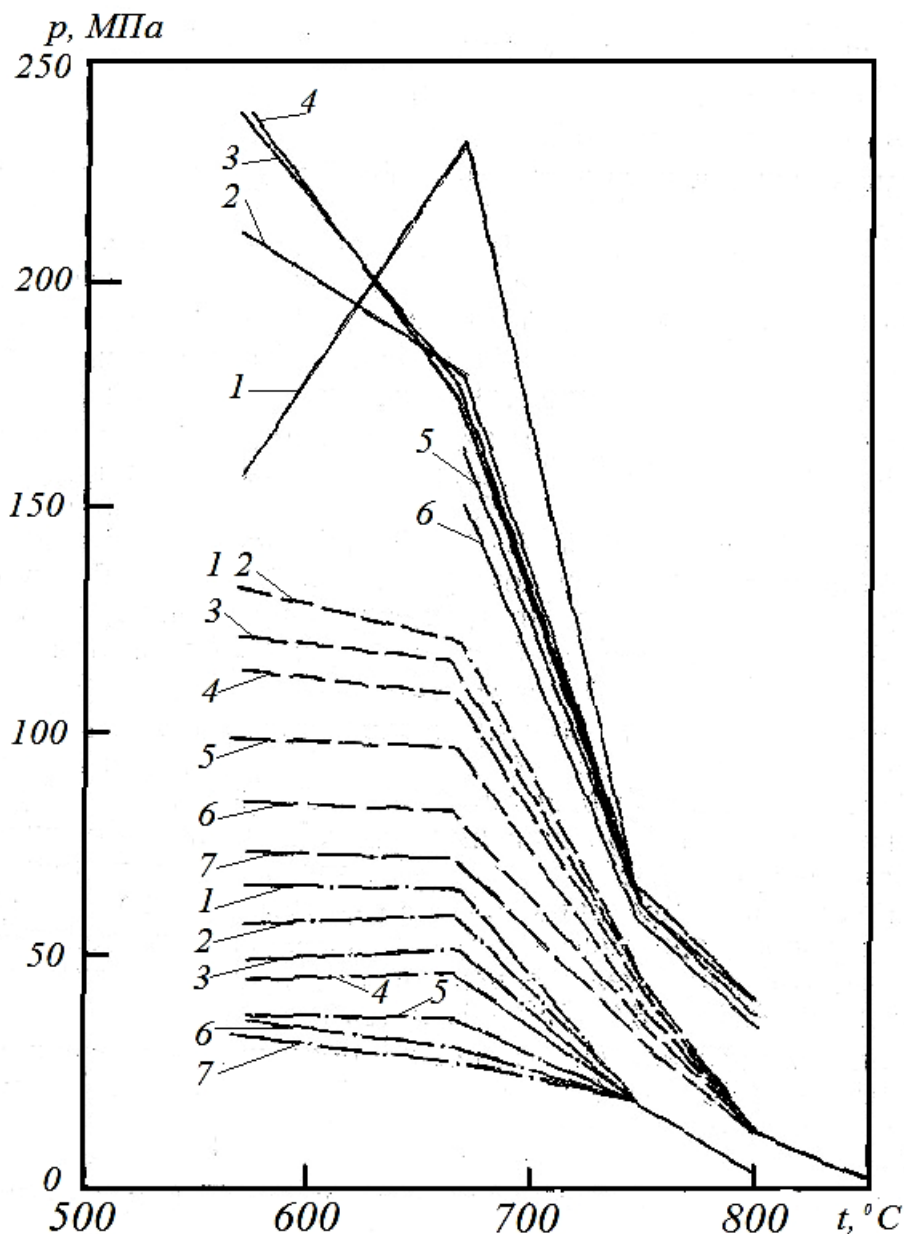


Рис.1- Влияние температуры на давление осадки образцов при степенях деформации 0,05 (1), 0,1 (2), 0,15 (3), 0,2 (4), 0,3 (5), 0,4 (6), 0,7 (7) и скорости деформирования 2 мм/мин. (—), 0,2 мм/мин. (-----), 0,02 мм/мин. (- - -).

Увеличение температуры испытаний на 100°C обеспечило снижение давления осадки до 150-180 МПа при $V = 2$ мм/мин. и 75-120 МПа при $V = 0,2$ мм/мин. Что касается осадки с $V = 0,02$ мм/мин., то при $\delta \leq 0,3$ давление

осадки не изменилось в пределах ошибки эксперимента и незначительно изменилось лишь при $\delta \geq 0,3$.

Наиболее интенсивное разупрочнение наблюдалось в сплаве при увеличении температуры осадки от 670 до 750 °С. При $V = 2$ мм/мин. значения p снизились до 90-120 МПа. С уменьшением скорости деформирования степень снижения давления осадки в процентном отношении была аналогичной (60 % предыдущего значения), и при $V = 0,02$ мм/мин. для всех значений степеней деформации $p = 20$ МПа.

Характерной особенностью диаграмм усилие-перемещение при 570 и 670 °С и скоростях 0,02 и 0,2 мм/мин. являлось монотонное снижение общей силы осадки после достижения максимума в начале процесса.

Обычно на таких диаграммах общая сила имеет тенденцию к росту, поскольку при осадке происходит как деформационное и скоростной упрочнение металла, так и непрерывный рост площади торцов образца. Сопоставляя машинные диаграммы для скоростей деформирования от 2 мм/мин. и меньше, можно предположить, что низкие скорости деформирования не только не вызывают упрочнения, но способствуют интенсивному деформационному разупрочнению, например, за счет измельчения зерна. Что касается диаграмм усилие-перемещение для осадки при 750 °С, то они характеризуются монотонным рост общей силы осадки, причем давление осадки при 800 и 850 °С во всем диапазоне скоростей деформирования и при $T = 750$ °С и $V = 0,02$ мм/мин. не зависит от степеней деформации и наиболее существенно меняется в зависимости от скорости деформирования. Так, при 100-кратном уменьшении скорости деформирования при 800 °С давление осадки снижается в 5-7 раз (с 40-42 до 6-8 МПа), а при 850 °С – с 24-26 до 2-3 МПа. Большая часть образцов имела очень высокие пластические свойства, трещины наблюдались только на боковых поверхностях образцов, осаженных при 570 °С. Максимальная степень деформации ($\delta = 0,82$) в образцах была лимитирована только техническими возможностями реверсора.

Металлографические исследования образцов показали, что после осадки в изотермических условиях и охлаждения до 150-200 °С с печью дендритная

структура сплава трансформируется в мелкозернистую с практически равноосным зерном, размер которого составляет 14-17 мкм для образцов, осаженных со скоростью 2 мм/мин., и возрастает до 25-30 мкм при скорости деформирования 0,02 мм/мин. При этом температура испытаний на размер зерна в образцах практически не влияет.

ВЫВОДЫ

1. Независимо от скорости деформирования (от 0,02 до 2 мм/мин.) оптимальный температурный диапазон пластической деформации литого сплава «Аврора» равен 700-800 °С.
2. Изотермические условия формоизменения обеспечивают аномально высокую пластичность сплава «Аврора» при температурах 670-850 °С.
3. При уменьшении скорости деформирования с 2 до 0,02 мм/мин. в оптимальном диапазоне температур давление осадки снижается в 2-3 раза при 750 °С и в 8-10 раз при 850 °С. Те же количественные соотношения наблюдаются и с повышением температуры осадки в пределах оптимального диапазона при фиксированной скорости деформирования.

Список использованных источников:

1. Фавстов Ю.К. *Металловедение высокодемпфирующих сплавов* / Ю.К. Фавстов, Ю.Н. Шульга, А.Г. Рахштадт.- М.: *Металлургия*, 1980.- 272 с.
2. Корчемкин А.Е. *Деформируемость и свойства марганцево-медного сплава «Аврора»* / А.Е. Корчемкин, Б.А. Мигачев, Д.И. Чашников, Б.И. Шекалов // *Вопросы судостроения*, Сер. *Металлургия*, 1982, №33, С.54-70.
3. Иванов Е.И. *Сопrotивление деформации марганцево-медного сплава при горячей прокатке* / Е.А. Иванов [и др.] // *Вопросы судостроения*, Сер. *Металловедение*. *Металлургия*, 1985, №44, С.72-79.
4. Анищенко А.С. *Состояние и перспективы внедрения изотермического деформирования и деформирования в режиме сверхпластичности* / А.С. Анищенко, М.А. Цепин, Д.И. Чашников // *Судостроительная промышленность*, Сер. *Материаловедение*, *Металловедение*, *Металлургия*, 1987, №4, С.48-52.

5. Новиков И.И. Сверхпластичность сплавов с ультрамелким зерном / И.И. Новиков, В.К. Портной.- М.: Металлургия, 1981.- 168 с.
6. Аубакирова Р.К. Роль превращений в развитии сверхпластичности металлов и сплавов // Тез. докл. IV Всесоюз. конф. «Сверхпластичность металлов» / Уфа, 1989, ч.1, С.12.
7. Лукина Г.Г. Физические и физико-механические свойства марганцево-медного сплава / Г.Г. Лукина, Э.Я. Любимова, А.М. Немец, Б.И. Шекалов // Вопросы судостроения, Сер. Металловедение, Металлургия, 1985, №42, С.14-18.
8. Кайбышев О.А. Пластичность и сверхпластичность металлов / О.А. Кайбышев.- М.: Металлургия, 1975.- 280 с.