

УДК 669.017.1

А. В. Сергеева, А. И. Скворцов

УПРОЧНЕНИЕ И РАЗУПРОЧНЕНИЕ СПЛАВОВ ZN–AL ПРИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ КОМНАТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЕ

Изучено влияние степени пластической деформации при комнатной температуре на твердость металлов и сплавов системы Zn–Al в зависимости от химического состава, включая чистый Zn, сплавы, богатые Zn и Al, в зависимости от режимов предварительной термической обработки. Проанализированы закономерности в соотношении эффектов разупрочнения и упрочнения чистого Zn и сплавов системы цинк–алюминий на разных стадиях пластического деформирования. Показано, что наличие процессов разупрочнения и упрочнения и их степень при пластической деформации при комнатной температуре металлов и сплавов системы Zn–Al зависят от химического состава и от режимов предварительной термической обработки. При упрочнении сплавов с большим содержанием Al наибольший вклад в формирование твердости вносит дислокационный механизм. Степень разупрочнения, увеличивающаяся с увеличением содержания Zn, объясняется усилением действия механизма зернограничного проскальзывания. Дополнительный вклад в формирование твердости вносит также механизм, обусловленный внутризерновой концентрационной неоднородности.

Ключевые слова: металлы и сплавы системы цинк–алюминий, закалка, пластическая деформация, твердость, структура.

Пластичность является одним из важнейших свойств металлических материалов. Она имеет большое значение при обработке металлов давлением. При этом с увеличением степени пластической деформации большинство металлических материалов упрочняется в следствие увеличения дефектности кристаллической структуры. Но в сплавах Zn–Al при увеличении степени пластической деформации при комнатной температуре может наблюдаться смена процессов упрочнения и разупрочнения [1–3].

Представляет интерес изучение влияния степени пластической деформации при комнатной температуре на твердость металлов и сплавов системы Zn–Al в зависимости от химического состава, включая составы сплавов, богатых Zn и Al и чистый Zn, в зависимости от режимов предварительной термической обработки.

Исследовались образцы двойных сплавов Zn–Al: ЦА27, ЦА29, ЦА32, ЦА35, ЦА39, ЦА65, ЦА80 и цинк Ц0. Отливки были получены литьем в металлическую форму.

Исследуемое свойство – твердость. Для исследования использовались образцы диаметром 10 мм и высотой 10 мм. Перед пластической деформацией образцы подвергались нагреву до различных температур (340, 360, 400, 410 °С) и разным режимам закалки: в воду комнатной температуры и на воздухе. Термически обработанные по различным режимам образцы деформировались осадкой на гидравлическом прессе при комнатной температуре с нарастающей степенью деформации ϵ в интервале от 10 до 90%. Максимальная степень деформации ограничивалась мощностью пресса. Средняя скорость деформации 0,5 мм/с. После каждой операции деформирования на заданную величину степени пластической деформации измерялась твердость образцов.

Методы измерения твердости: на приборе Роквелла ТР5014 по стандартной методике – HRH и по Виккерсу на приборе ТВМ 1000 по стандартной методике – HV , согласно ГОСТ 2999-75 (СТ СЭВ 470-77).

За степень упрочнения и разупрочнения принимается отношение изменения твердости ΔHRH в интервале степени деформации $\Delta \epsilon$ к этому интервалу ($\Delta HRH/\Delta \epsilon$). При этом степень упрочнения записана с положительным знаком, а степень разупрочнения – с отрицательным знаком.

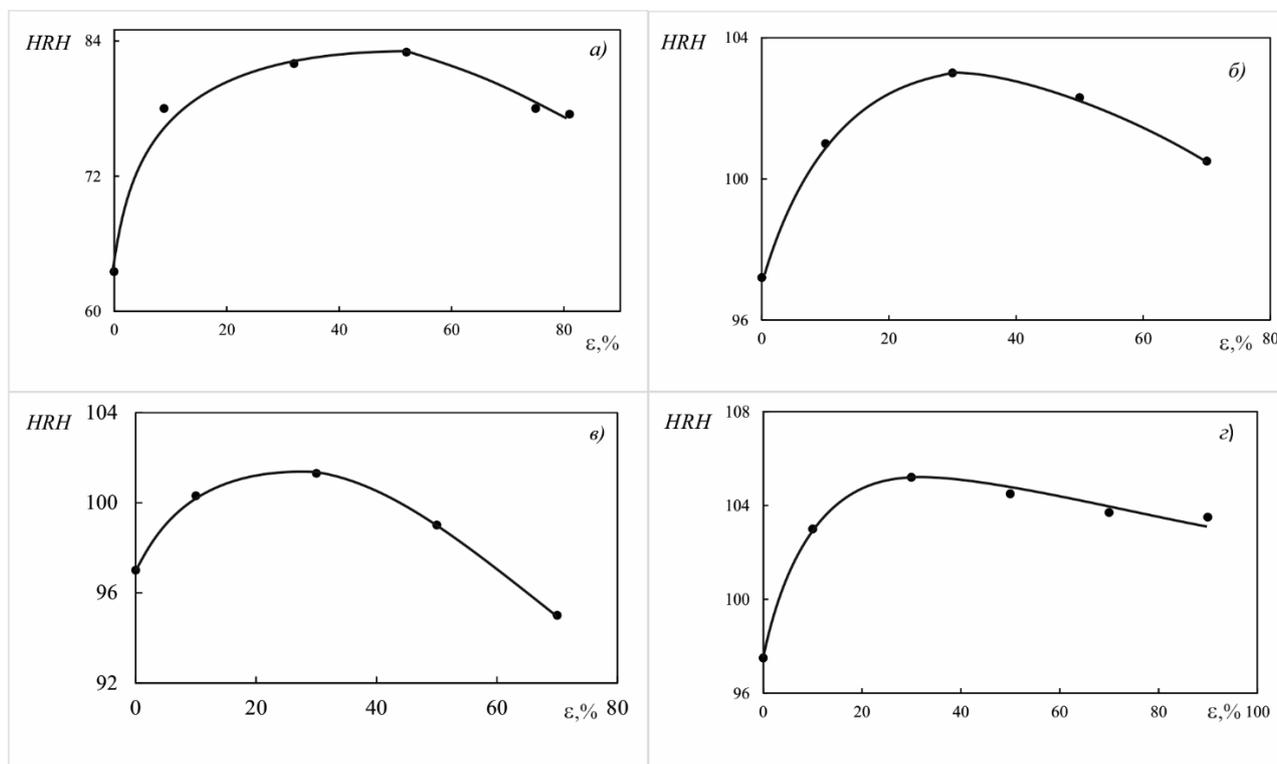
Высота деформируемых образцов измерялась при помощи штангенциркуля с ценой деления 0,1 мм.

В результате экспериментальных исследований получены зависимости твердости от степени пластической деформации (рис. 1) для чистого цинка и

7 сплавов системы Zn–Al, которые предварительно подвергались разным режимам закалки: в воду комнатной температуры и на воздухе от температур – 340, 360, 400, 410 °С.

Представленным графикам характерны две стадии деформирования (рис. 1, *a–з*), граница между которыми лежит в интервале $\varepsilon = 10–50\%$. С увеличением в сплаве доли Al, т.е. α -фазы, увеличивается доля упрочнения, так как чистому Al и сплавам с большим его содержанием свойственно только упрочнение [2, 4].

В ходе обработки данных и графиков зависимости твердости от степени пластической деформации (рис. 1) для всех режимов термической обработки получены графики концентрационной зависимости средней степени упрочнения, разупрочнения на 1 и 2 стадиях деформирования, представленные на рис. 2. За границу между 1 и 2 стадиями деформирования принята степень пластической деформации, соответствующая точке перегиба на графике $HRH - \varepsilon$.



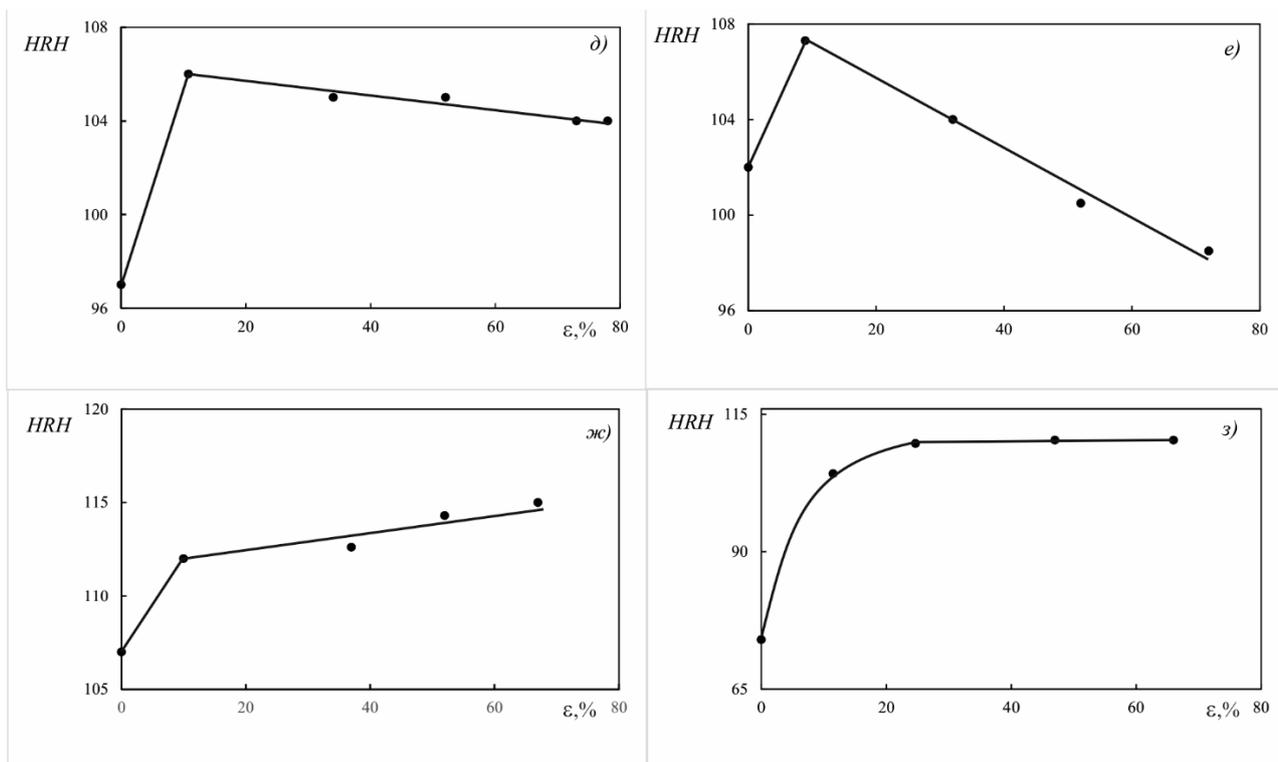
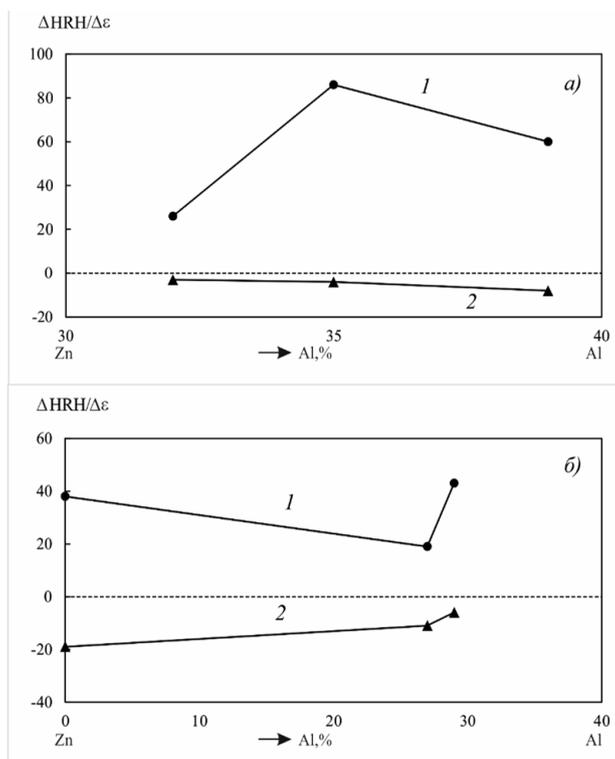


Рис. 1. Зависимость твердости от степени пластической деформации предварительно термически обработанных (в скобках – температура нагрева и среда охлаждения) сплавов системы Zn–Al и чистого Zn: а – Ц0 (360 °С, вода), б – ЦА27 (360 °С, вода), в – ЦА29 (360 °С, вода), г – ЦА32 (410 °С, вода), д – ЦА35 (340 °С, вода), е – ЦА39 (340 °С, вода), жс – ЦА65 (400 °С, воздух), з – ЦА80 (400 °С, вода).



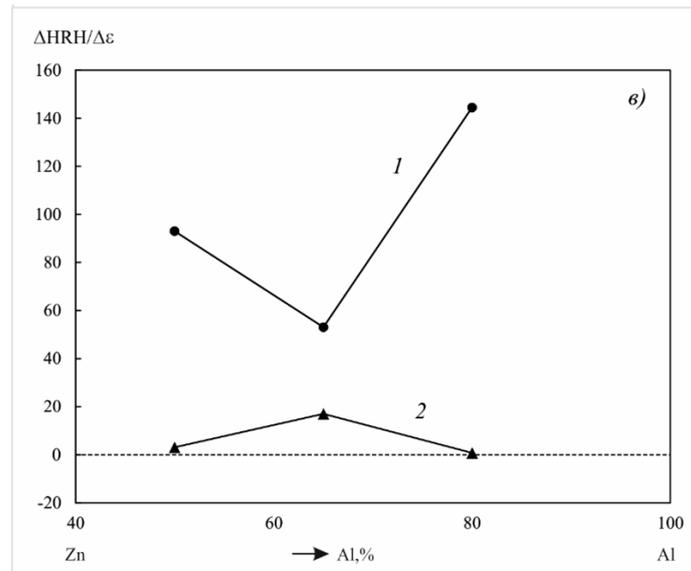


Рис. 2. Концентрационная зависимость средней степени упрочнения, разупрочнения на первой (1) и второй (2) стадиях деформирования сплавов системы Al–Zn и Zn после закалки от 340 °С (а), 360 °С (б), от 400 °С (в) в воде комнатной температуры.

Из рис. 2 видно, что с увеличением содержания Al, т. е. α -фазы, уменьшается степень разупрочнения сплавов на 1 и 2 стадиях деформирования, и увеличивается степень упрочнения на 1 стадии деформирования.

Итак, наличие процессов разупрочнения и упрочнения при пластической деформации при комнатной температуре металлов и сплавов системы Zn–Al зависит от химического состава и от режимов предварительной термической обработки. Сплавы с достаточно большим содержанием Zn разупрочняются при увеличении степени пластической деформации при комнатной температуре [3]. Упрочнение характерно для сплавов с большим содержанием Al [2, 4], то есть с содержанием Zn до 22–37%. Для сплава с содержанием Zn = 20% характерно увеличение твердости (упрочнение) на начальной стадии повышения степени деформации, а при высоких степенях деформации – разупрочнение сплава. У сплавов Zn–Al с промежуточным содержанием элементов наблюдается чередование упрочнения с разупрочнением с увеличением степени пластической деформации [2].

Чистому Zn характерно упрочнение на 1 стадии деформирования и разупрочнение на 2 стадии. Однако, уменьшение β -фазы с увеличением содержания Al не приводит к уменьшению степени упрочнения сплавов. Это свидетельствует о незначительном вкладе β -фазы в дислокационный механизм упрочнения сплавов. Разупрочнению же сплавов на 2 стадии деформирования соответствует увеличения в них β -фазы. Следовательно, β -фаза вносит значительный вклад в активизацию механизмов разупрочнения на 2 стадии деформирования при увеличении степени пластической деформацией при комнатной температуре [5].

Существенное увеличение интервала между значениями степеней упрочнения и разупрочнения сплава с Al = 65 % связано, как предполагается, с иницированием деформацией в пересыщенном твердом растворе сплава наряду с дополнительного механизма упрочнения дислокационным механизмом – процессом дисперсионного твердения [5]. Это отражается в нелинейности изменения степени упрочнения на графике концентрационной зависимости. О возможности иницирования пластической деформацией распада пересыщенного твердого раствора в сплавах системы Zn–Al, в частности, в сплаве Zn–70% Al свидетельствуют результаты работы [6]. При этом надо учитывать, что сплав с содержанием Al = 65% по составу находится более близко к сплаву Zn–68,4% Al, соответствующему максимальной растворимости Zn в α -фазе при температурах, ниже температуры монотектоидного превращения, поэтому он способен к наибольшему упрочнению по сравнению с другими исследуемыми сплавами – 115 HRH (135 HV) при степени пластической деформации 64–67 %.

При упрочнении, увеличивающемся с увеличением содержания Al, наибольший вклад в формирование твердости сплавов системы Zn–Al дает дислокационный механизм: увеличение степени пластической деформации сопровождается увеличением плотности дислокаций [7]. В закаленных сплавах, с

большим содержанием Al, по составу близких к сплаву, соответствующему максимальной растворимости Zn в α -фазе при температурах, ниже температуры мотектоидного превращения, при пластической деформации проявляет себя дополнительный механизм упрочнения – дисперсионное твердение [5]. В разупрочнение, увеличивающееся с увеличением содержания Zn, наибольший вклад в формирование твердости вносит механизм, обусловленный зернограничным проскальзыванием: сопротивление зернограничному проскальзыванию уменьшается с увеличением степени пластической деформации. Дополнительный вклад в формирование твердости вносит механизм, обусловленный внутризерновой концентрационной неоднородности: степень внутризерновой концентрационной неоднородности (жесткость каркаса внутризерновой концентрационной неоднородности) уменьшается с увеличением степени пластической деформации [7].

Количественное значение степени разупрочнения, упрочнения также зависит от химического состава и предварительной термообработки.

Список литературы

1. Сковцов А. И., Толстобров А. К. Закономерности влияния различных режимов термической обработки на характер зависимости твердости – степень пластической деформации сплава ЦА23 // Технология металлов. 2015. № 1 С. 18–21.
2. Сковцов А. И., Толстобров А. К. Влияние термической обработки на зависимость твердости от степени пластической деформации для сплава ЦА39 // Деформация и разрушение материалов. 2015. № 8. С. 43–45.
3. Сковцов А. И., Веселов Н. Н., Сковцов А. А., Обухова Ю. Б. Зависимость свойств и кристаллической структуры сплава Zn–23%Al от степени пластической деформации // Деформация и разрушение материалов. 2013. № 7. С. 22–25.
4. Влияние предварительной термической обработки на характер изменения твердости при пластической деформации сплава ЦА80 / В. В. Полев [и др.]; ВятГУ, ФАМ, каф. МОК, ВятГУ, ФАМ, каф. ИТМ, ВятГУ, Проблемная лаб. метал. материалов с высокими вибропогл. свойствами // Общество, наука, инновации (НПК–2015): сб. материалов всерос. ежегод. науч.-практич. конф. 13–24 апреля 2015 г. Киров, 2015. С. 585–589.

5. *Скворцов А. И.* Влияние пластической деформации при комнатной температуре на упрочнение и разупрочнение металлов и сплавов системы алюминий-цинк // Общество, наука, инновации (НПК–2016): сб. материалов всерос. ежегод. науч.-практич. конф, 18–29 апр. 2016 г. Киров, 2016. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). Секция «Материаловедение и технологии сварки. Наноматериалы и нанотехнологии». С. 243–248.

6. *Мазилкин А. А., Страумал Б. Б., Протасова С. Г., Когтенкова О. А., Валиев Р. З.* Структурные изменения в алюминиевых сплавах при интенсивной пластической деформации // Физика твердого тела. 2007. Т. 49. № 5. С. 824–829.

7. *Скворцов А. И.* Фазовые и структурные превращения в сплавах системы алюминий – цинк: учеб. пособие. Киров: ВятГУ, 2016. 42 с.

СЕРГЕЕВА Анастасия Владимировна – магистрант, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: nast28-83@mail.ru

СКВОРЦОВ Александр Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и основ конструирования, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: scvortsovai@mail.ru