

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА ИХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

(34)

Современные экспериментальные данные, связанные с различными физико-химическими проявлениями в ходе пластической деформации металлов, дают основание для совершенствования представлений о механизме пластической деформации и практическом использовании особенностей структурно-фазовых переходов при деформации металлов и сплавов. Кроме того, внесение ряда дополнений в современные представления о природе процессов, происходящих в металлах в ходе пластической деформации, дают веские основания для совершенствования

технологических приемов деформирования металлов, в том числе со значительной экономией энергии, как это прогнозировалось в [1]. При разработке этих технологических приемов должно учитываться наличие различных физических и химических процессов при пластической деформации, что позволяет провести аналогию между деформацией и процессами, протекающими при различных химических реакциях. Обобщение полученных по литературным данным сведений и результаты собственных исследований позволяют рассматривать деформацию металлов

под влиянием механической энергии как разрушение (или ослабление) связи между атомами (или молекулами) металлов (и других веществ), которое имеет все особенности химических процессов [2].

В технологическом плане большой интерес представляет упрочнение металлов после пластической деформации. Для создания новых технологий упрочнения металлов и сплавов нами проводится комплекс исследований по установлению особенностей пластической деформации металлов при различных методах их обработки. В данной статье приводятся результаты экспериментов по исследованию пластической деформации различных металлических образцов при растяжении.

Растяжение металлических образцов проводилось с регистрацией энергосиловых параметров. На первом этапе исследования проводили на алюминии промышленной частоты (99,7%) после больших степеней предварительного наклена. Металл сначала отжигали по ступенчатому режиму от 550°C. Затем часть нагревали до 550°C и закаливали в воде комнатной температуры. Как отожженные, так и закаленные слитки прокатывали в холодную на 13, 30, 60 и 80% и разрезали в направлении прокатки.

Образцы с размерами рабочей части Ø 5×20 мм, выточенные из полученных заготовок, растягивали на горизонтальной механической машине со скоростью движения захватов 4 мм/мин. Исследование вели при температурах 20-640°C. Нагрузку и размеры деформируемого образца синхрон-

ного фиксировали через каждые 5-10 с. По полученным данным были построены кривые истинных напряжений течения.

На кривых течения при деформировании проб при температурах 200 – 350°C в момент образования шейки наблюдали резкое разупрочнение металла. Следует отметить, что на кривых течения образцов, в которых протекает деформационное разупрочнение, помимо зуба текучести наблюдается продолжительное разупрочнение металла при больших текущих деформациях.

На разорванных образцах были проведены исследования структуры, которые показали, что при некоторых температурах нагрева и растяжения проходила рекристаллизация деформированных образцов алюминия. У предварительно отожженного и прокатанного в холодную на 60% образца рекристаллизации начинается при 350°C, а у предварительно закаленного и обжатого на 80% - при 376°C, что находится в хорошем соответствии с литературными данными. Начиная с этих температур, на кривых течения металла зуб текучести не обнаруживается.

Наиболее интересный факт, обнаруженный при экспериментах, заключается в осциллирующем изменении истинной скорости течения в области минимального сечения образца при увеличении сужения от 0,1 до 0,6-0,8. Особенно ярко этот факт наблюдается для сверхпластичных материалов (рис. 1), на которых приведены данные, полученные при разных температурах растяжения – 100°C и 250°C.

график № 169

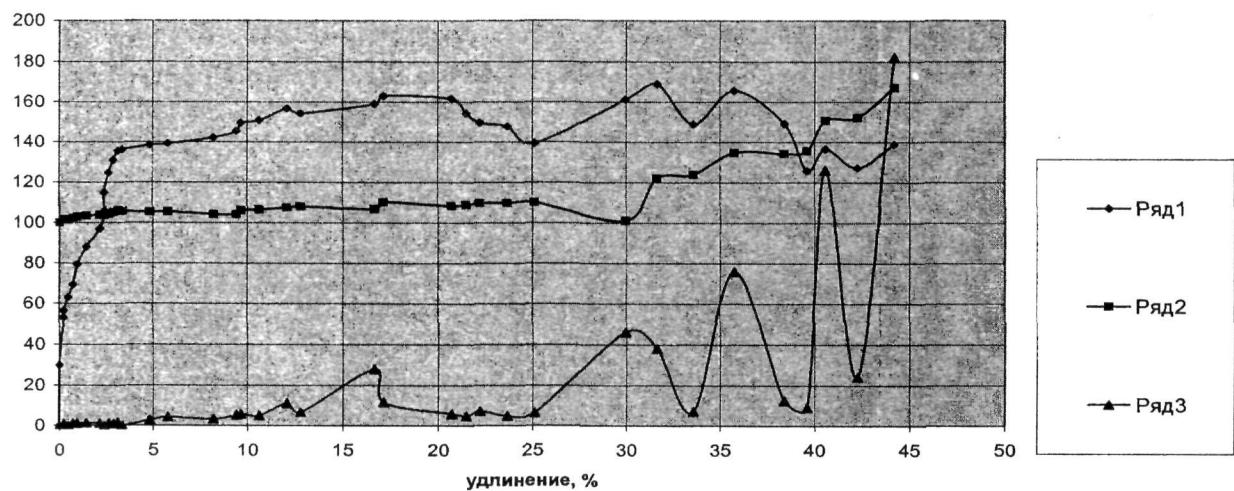


Рис. 1. Зависимость истинных напряжений течения (1), коэффициента локализации деформации (2) и скоростей течения (3) от деформации образцов эвтектоида алюминий – цинк при 100°C

Из сопоставления полученных результатов по влиянию температуры растяжения на изменение основных параметров деформации видно, что осциллирующий характер изменения скоростей течения наиболее ярко проявляется при переходе от равномерной деформации образца к зоне ее локализации. Представляет интерес тот факт,

что в случае интенсивного роста локализации не происходит нарастания величины осцилляций. Осциллирующий характер изменения скоростей течения является отражением периодичности процесса деформации, что описывается частотными характеристиками, представленными ниже.

график № 171

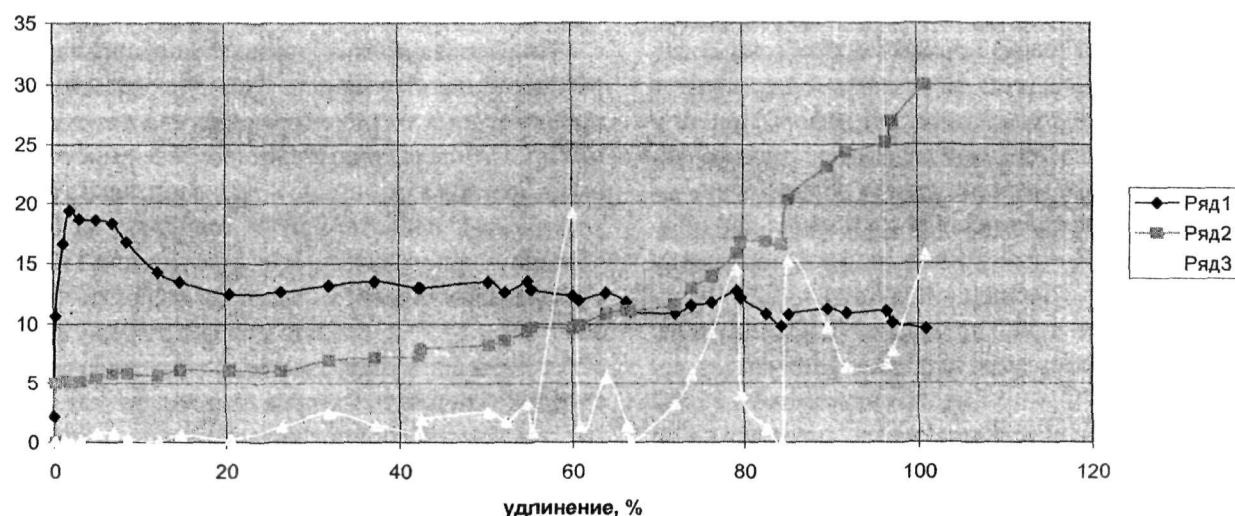


Рис. 2. Зависимость истинных напряжений течения (1), коэффициента локализации деформации (2) и скоростей течения (3) от деформации образцов эвтектоида алюминий – цинк при 250°C

Полученные данные, являются отражением волнового характера пластической деформации. Однако полученные экспериментальные данные лишь в низкочастотной области отражают характер реального волнового процесса, что напрямую связано с использованием соответствующей аппаратуры и методики регистрации, как силовых параметров, так и сечения образцов.

Подтверждением этому выводу являются результаты измерения частотных характеристик колебательного процесса при растяжении на горизонтальной механической разрывной машине использованием спектроанализатора 2113 фирмы «Брюль и Кьер» с последовательной регистрацией в диапазоне 20 Гц; 20 кГц с интервалом 1/3 октавы. Динамический диапазон равен 50 дБ (рисунок 7.7). Были определены спектры частот и интенсивность механических колебаний системы в процессе растяжения алюминиевых и медных образцов. В качестве датчика служил контактный пьезоэлектрический преобразователь механических колебаний. Для уменьшения

уровня виброшумов кабеля и согласования датчика с регистрирующим прибором между ними включался истоковый повторитель.

Эксперименты показали, что диапазон частот, зарегистрированных в процессе пластической деформации образцов, находится в пределах 0–5000 Гц. С увеличением жесткости нагружающей системы спектр расширяется как в сторону высоких частот, энергия колебаний повышается. С повышением жесткости системы более мощными в ней становятся низкочастотные колебания (до 100 Гц) (рис. 3).

Результаты регистрации механических колебаний с деформируемого образца подтверждают развитие локализации деформации как «волновой» процесс, требующий обязательной комбинации периодического возрастания упругой деформации, которая сопровождается быстрой локальной пластической деформацией, приводящей к снижению напряжения. Периодичность в изменении амплитуды регистрируемых колебаний определенной частоты отражает стадийный

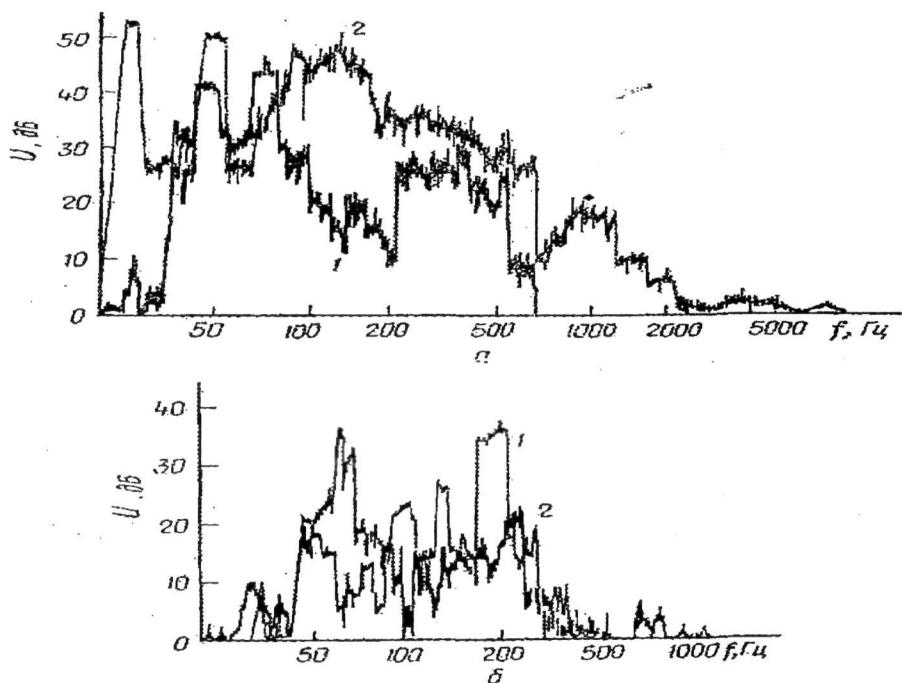


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики механических колебаний, при деформации образцов различной жесткости в начале растяжения (а) и перед разрушением (б)

характер развития локализации деформации. Завершающий этап деформации для большинства пластичных металлов и сплавов характеризуется снижением уровня высокочастотных колебаний.

Нами исследовались физические свойства и микроструктура металла по сечению деформируемых образцов. Проведены эксперименты по измерению электрического сопротивления металла, которое является одной из наиболее структурночувствительных характеристик металлов в процессе пластической деформации образцов. Для опытов использовали бескислородную медь с содержанием металла 99,99-99,98%, т.е. при концентрации всех присутствующих примесей в количестве не более 0,02%. Образцы имели форму цилиндра диаметром 6 мм с обработкой поверхности по 9-10 классу точности. После изготовления образцы отжигали при 600°C в течение 2 ч в токе аргона с последующим охлаждением вместе с печью до комнатной температуры. Измерения электрического сопротивления металла проводили при комнатной температуре на базах, различной длины (от 1,5 мм до 35 мм) в процессе деформации в различных областях образца: как вне шейки, так и в пределах ее. Скорость движения, подвижного захвата машины составляла 4 мм/мин. Для непрерывного замера изменения

электросопротивления меди при деформации с немедленной фиксацией его была создана специальная экспериментальная установка. Образец при растяжении находился в изолированных токоподводящих захватах испытательной машины, через него пропускался постоянный электрический ток плотностью 0,5 А/мм², величину которого регулировали. Падение напряжения на выбранной базе измеряли микровольтметром, применяемым в качестве предусилителя. Оно составляло порядка 10⁻³-M0⁴ В и записывалось потенциометром КСП-4. Для градуировки использовали эталонный медный образец диаметром 6 мм и длиной 100 мм, на котором было создано десять базовых длин с сопротивлением от 6 до 600-10⁻³ см, предварительно измеренных на мосту сопротивления Р 309 (класс точности 0,5). Одновременно с электросопротивлением определяли и фиксировали нагрузку на образец, его форму и геометрические размеры. Расчет удельного электросопротивления проводили по формуле $\rho = R V / I$, где ρ_r - среднее текущее удельное сопротивление в пределах избранной базы измерения, R - текущее значение сопротивления, V - объем базы, I - текущая длина исследуемого участка образца. Ошибка определения удельного, электросопротивления не превышала 3%.

Замеры электросопротивления, выполненные на базе вблизи головки образца, показали сначала его значительное понижение (до 20%), а затем непрерывный рост, превышающий в конце опыта исходное значение. В случае, если база измерений находится между головкой пробы и шейкой на участке образца, где локализация (шейка) выражена слабо, то наблюдается уменьшение ρ , которое только перед самым разрывом сменяется некоторым относительно небольшим ростом сопротивления. Максимальное увеличение удельной электропроводности достигает в

этом случае 30%, а заключительное формоизменение снижает ее до 25%.

На рис. 4 приведены данные для базы измерения, находящейся непосредственно в шейке, вблизи поверхности разрушения. В этом случае проявляется уменьшение электросопротивления до конца эксперимента, хотя и происходит немонотонно: в середине опыта оно несколько повышается, но не достигает исходной величины, а затем снова заметно падает. Наибольшее снижение электросопротивления перед разрывом составляет 45%.



Рис. 4. Относительное изменение электрического сопротивления в процессе деформации образца из бескислородной меди:
1 – вблизи головки;
2 – между головкой и шейкой;
3 – в центральной части шейки образца

Таким образом, в процессе пластического течения бескислородной меди в области локализации деформации (развитой шейки) наблюдается значительное снижение электросопротивления, которое к моменту разрыва достигает 30-50%.

Исследования структурных изменений в ходе пластической деформации металлов проводили на примере эвтектоида алюминий – цинк, который является классическим объектом исследования процесса пластической деформации в условиях сверхпластичного течения. При исследовании структуры в зонах локализации деформации было установлено, что четко фиксируются границы зерен высокотемпературной β -фазы, вдоль которых обнаруживаются новые структурные элементы в виде тонких прослоек, содержащих большое количество игольчатых выделений. По мере развития пластической деформации происходит глубокая структурно-фазовая перестройка материала. На определенной стадии деформации измельчение структуры сменяется ростом зерна, происходит увеличение количества цинковой фазы, формируется текстура, и наблюдаются

игольчатые выделения. Игольчатые выделения в основном располагаются в участках, богатых цинковой фазой. Часто строение игольчатых кристаллов неоднородно, в них обнаруживаются признаки распада, что связано с их метастабильной природой. Кроме того, в отдельных участках образца наблюдается структурно-фазовая рекристаллизация с образованием новых структурных элементов по типу фрактальных образований. Так, на рис. 5 показана новая структура, инициируемая деформацией в зоне локализации деформации, имеющая фракталоподобную конфигурацию.

Следовательно, структурная перестройка в деформируемом материале при определенных температурах сопровождается снижением действующего напряжения течения и улучшением проводящих свойств

Фрактальная картина развития процессов деформации и разрушения объясняет масштабно-инвариантный механизм развития зон локализации деформации по всему объему деформируемого тела. Размер структурных элементов



Рис. 5. Формирование фрактальной структуры конгломерата зерен в очаге локализации деформации эвтектоида (увел. X 2000)

деформируемого тела определяет степень развития деформационных превращений в веществе.

Пластическая деформация металлов является очень сложным физико-химическим процессом и, по мнению авторов, наиболее верной является трактовка процесса пластичности металлов с позиций физико-химических превращений, осуществляемых через фазовые переходы. Такой подход к теории пластичности дает возможность по-новому оценить процессы, протекающие в деформируемом металле.

Представленные в данной статье результаты выполненных исследований служат частью теоретических и экспериментальных предпосылок для создания основных принципов конструирования нового типа инструментов для различных типов обработки металлов и сплавов.

Выводы

- Механизм деформирования проходит через фазовый переход и в зоне единичного импульса пластической деформации образуется структура, полученная в результате перекристаллизации. Поскольку в течение единичного импульса происходит прямой и обратный фазовые переходы, то часть материала остается в виде высокотемпературной фазы. Уменьшение размеров зерна

при перекристаллизации и наличие в материале некоторого количества высокотемпературной фазы приводят к упрочнению данной области образца.

- Все факторы воздействия на деформируемый металл, способствующие росту работы деформации за единичный цикл и увеличению температуры в зоне пластичности способствуют более длительному времени нахождения металла в переходном (пластичном) состоянии и к росту размеров кристаллитов наблюдаемых как результат пластичного течения.

- Вторичным эффектом будет увеличение упрочнения металла как результат измельчения кристаллитов и упрочнения металла за счет появления в нем остатков высокотемпературной фазы.

- Изменение точки зрения на механизм пластической деформации дает возможность логичного объяснения сути процесса, и главное, возможность целенаправленного управления технологическими режимами обработки металлов давлением.

ЛИТЕРАТУРА

- Outlines of development of metallurgical processes on the next century [Heikki Jalkanen // Material Tech. 91: 2nd Europ. East-West Symp. Matre. And Processes [Helsinki, May 26-30, 1991]. P. 391.

- Локализация пластической деформации и неравновесные структурно-деформационные превращения. (Авторы – составители Б. К. Кенжалиев, Т. В. Черноглазова, Н. Н. Мода, А. С. Дегтярева, Г. Г. Курапов, Э. Н. Сулейменов). Алматы, 2004. 271 с.

Резюме

Металдар мен қорытпалардың пластикалық деформациялануының іргелі зерттеу нәтижелерін іс жүзінде қолдану турасындағы деректері көлтірілген.

Summary

Some data devoted to “management” of electric conductivity of oxide systems, which traditionally is considering as electrolytes, are presented in the article. It is experimentally shown that such melts have molecular structure and cannot be considering as electrolytes.

УДК: 669.017.539.374.381:620.18

Поступила 20.05.08г.