ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

«Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г. Томск, Россия

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-204

ХЛАДНОЛОМКОЕ СОСТОЯНИЕ И ХРУПКОЕ РАЗРУШЕНИЕ МЕТАЛЛОВ, СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОВ ИХ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ РЕШЁТОК (ГЦК, ОЦК), ПРОЧНОСТИ И НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННЫХ СОСТОЯНИЙ

Чернов В.М.

Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара, Москва

Исследованы и определены условия возникновения состояний хладноломкости (формирования температур вязко-хрупких переходов Tdbtt) и хрупкого разрушения в таких состояниях металлов с Γ ЦК (нет хладноломкости) и Ω ЦК (хладноломкость типична) кристаллическими решётками. Такие условия формируются в металлах их кристаллическими решётками (потенциальными рельефами плоскостей скольжения дислокаций в пластических зонах критических трещин, как концентраторов напряжений), структурно-фазовыми состояниями, низкотемпературной прочностью, упругостью (накопленной упругой энергией), поверхностной энергией и степенью жёсткости напряжённо-деформированных состояний, характеризуемой величиной σ_{22}/σ_{12} (σ_{22} и σ_{12} - нормальная и сдвиговая компоненты напряжения в плоскости распространения трещины). Возникновение критических трещин (концентраторов напряжений) и их быстрое распространение определяют состояние хладноломкости (формирование температуры Tdbtt) и хрупкого разрушения разрывом хладноломких металлов как динамический процесс.

Процесс хрупкого разрушения металлов разрывом в состояниях их хладноломкости характеризуется стадийностью последовательных дислокационных процессов, включающих медленное (термоактивированная подвижность дислокаций) зарождение трещины (1-я стадия) и её медленный термоактивируемый рост до критического размера (2-я стадия). Пластическая деформация металлов на этих стадиях всегда предшествует их хрупкому разрушению на 3-ей динамической стадии, являющейся практически не контролируемым процессом быстрого распространения критической трещины. Зарождение, высокие стартовые напряжения (заторможенный сдвиг, высокая накопленная упругая энергия) и динамическая подвижность дислокаций в пластической зоне критической трещины определяют скорость распространения критической трещины в состоянии хладноломкости металла при высокой жёсткости напряжённо-деформированного состояния разрушаемого металла ($\sigma_{22}/\sigma_{12} \cong 1$). В пластической зоне критической трещины возникает локальный динамический комплекс «фронт критической трещины – дислокация», подвижность которого (распространение критической трещины) определяется и контролируется скоростью его дислокации в динамической области подвижности. Изменения структурнофазовых и дефектных состояний хладноломких металлов (легирование, термомеханические обработки, облучение) изменяют температурные области возникновения в них состояния хладноломкости (температур Tdbtt) и хрупкого разрушения разрывом.

Скорости дислокаций V_{dyn} в динамических областях их подвижности в пластических зонах критических трещин (концентраторах напряжений) при температуре T определяются из условия $B(T)V_{\text{dyn}}=\sigma^T_{12}$ b, где b - вектор Бюргерса дислокации, σ^T_{12} - сдвиговая компонента напряжения в пластической зоне трещины (концентраторе напряжения), B(T) - коэффициент вязкого торможения дислокации, определяемый взаимодействием дислокаций c фононэлектрон-магнонными подсистемами разрушаемого металла и обычно уменьшающийся при понижении температуры. В хладноломких металлах может сформироваться критический уровень вязкости торможения скользяших дислокаций Bcr (критические уровени дислокационного амплитудно-независимого внутреннего трения), выше которого в этих металлах хладноломкость не возникает (не формируется температура Tdbtt). Состояние хладноломкости и хрупкого разрушения разрывом (катастрофическое раскрытие и распространение критической трещины) возникает в хладноломких металлах при

выполнении условия $B_{cr}V_{dyn} \le 2\gamma$ (γ – удельная поверхностная энергия металла, причём $\gamma_{\text{оцк}} > \gamma_{\text{гцк}}$) и при высокой жёсткости напряжённо-деформированного состояния разрушаемого металла ($\sigma_{22}/\sigma_{12}\cong 1$).

Рассмотрены ГЦК металлы (аустенитная сталь ЭК-164) и ОЦК металлы (Та, ферритномартенситная сталь ЭК-181, сплавы ванадия V-4Ti-4Cr, V-W-Cr, V-Ta-Cr-Zr). Температурные области их хладноломкостей (Tdbtt) определены из экспериментов по ударной вязкости разрушений (образцы типа Шарпи) в области низких температур (300 К – 100 К). В температурных областях хладноломкостей этих металлов неразрушающим методом физической акустики (килогерцевый диапазон частот) получены характеристики амплитудно-независимого дислокационного внутреннего трения, определяемые плотностью дислокаций (дислокационных сегментов) и их вязким скольжением (модель Гранато-Люкке). Наблюдаемые в металлах корреляции температурных зависимостей ударной вязкости разрушения и внутреннего трения дают возможность определения температурных областей их хладноломкостей (Tdbtt) из неразрушающих акустических экспериментов.

В ГЦК металлах (низкие барьеры Пайерлса, низкие стартовые барьеры для движения дислокаций, низкие уровни накапливаемой упругой энергии) при низких температурах (ниже 300 К) наблюдаются высокие уровни внутреннего трения (высокие вязкости скольжения дислокаций) и, как следствие, состояние хладноломкости и хрупкого разрушения не возникает (как типичное явление, исключения неизвестны).

В ОЦК металлах (высокие барьеры Пайерлса, высокие стартовые барьеры для движения дислокаций, заторможенный сдвиг дислокаций, высокие уровни накопленной упругой энергии) при низких температурах наблюдаются низкие уровни внутреннего трения (низкие вязкости скольжения дислокаций) и формируются их хладноломкие состояния (формируются температуры Tdbtt) как типичное явление. Исключением являются металлический Та и сплав V-Cr-Ta-Zr, в которых наблюдается (относительно других ОЦК металлов) аномально высокое низкотемпературное внутреннее трение (высокие вязкости скольжения дислокаций) при низких температурах (ниже 300 K), что определяет отсутствие в этих металлах состояний хладноломкости (температура Tdbtt не формируется) и хрупкого разрушения разрывом. Физические механизмы такого исключения для ОЦК металлов Та и V-Cr-Ta-Zr не ясны.

При слабой жёсткости напряжённо-деформированного состояния хладноломких ОЦК металлов ($\sigma_{22}/\sigma_{12} << 1$) критические трещины в них могут распространяться без своего раскрытия (сдвигом) с образованием полос скольжения (разрушение хладноломких металлов сдвигом).