

Новая разработка НПО «Центр» - автоматизированный комплекс гидроабразивной резки. Освоенный на производстве автоматизированный комплекс предназначен для фигурного и линейного раскроя листовых материалов с помощью водной струи высокого давления с добавлением абразива.

Последними разработками научно-производственного республиканского унитарного предприятия НПО «Центр» являются 5-ти координатные порталные манипуляторы, обеспечивающие резку под углом криволинейных поверхностей поворотными головками (рис. 3).

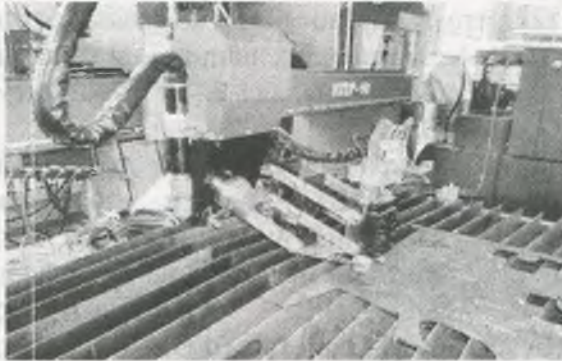


Рисунок 3 – Система резки под углом криволинейных поверхностей плазменной головкой

Это позволяет проводить разделку и подготовку кромок перед сварочными операциями, существенно расширяет технологические возможности комплексов при обработке толстолистовых заготовок и в соответствии с рассмотренными схемами послойного разбиения и синтеза объектов, обеспечивает переход к широкому применению «прямого выращивания» путем листового раскроя и сборки изделий.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАМЕЛКОЗЕРНИСТОГО НИКЕЛЯ

Самигуллина А.А.¹, Назаров А.А.¹, Мулюков Р.Р.¹, Царенко Ю.В.², Рубаник В.В.²

¹Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, Уфа, Россия,
asiya_nazarova@mail.ru

²Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь,
ita@vitebsk.by

Ультразвук активно воздействует на микроструктуру поликристалла, взаимодействуя с дефектами кристаллической решетки. В работах, посвященных компьютерному моделированию воздействия ультразвуковых колебаний на дефектную структуру металлов, показано, что ультразвук способствует увеличению подвижности дислокационных ансамблей [1], самоорганизации дислокационных ансамблей и приведению дислокаций в них к устойчивым конфигурациям [2], поперечному скольжению [3], увеличению плотности вакансий [4] и т.д. В результате изменяются и макросвойства материала, что подтверждает ряд экспериментальных данных [5-8]. Важным экспериментальным результатом является увеличение термической стабильности УМЗ никеля, подвергнутого ИПД кручением, под действием УЗО [9]. Исследование было проведено для плоских образцов, имеющих диаметр не более 1 см. Снижение внутренних напряжений, наблюдавшееся в работе, обычно способствует и изменению механических свойств. Поэтому представляет интерес провести подобные исследования для объемных

образцов с целью получить для них подобные результаты. Одним из методов ИПД, позволяющих получить объемные образцы, является равноканальное угловое прессование (РКУП).

В работе исследовался никель технической чистоты марки НП-2, имеющий следующий химический состав: в вес. %: 99.5 Ni, 0.1 Fe, 0.15 Si, 0.1 Mg, 0.05 Mn, 0.1 Cu, 0.002 Pb. Образцы в форме цилиндра были подвергнуты РКУП по маршруту Вс, 12 проходов при температуре 350°C. Часть образцов была подвергнута УЗО по следующей схеме: цилиндрический образец полуволновой длины плотно прикручивался с помощью резьбы к концентратору и благодаря использованию смазки представлял собой часть волноводной системы так, что в образце возбуждалась стоячая волна, при образовании которой максимум (пучность) сдвигающих напряжений оказывался посередине образца. Частота возбуждаемых колебаний составляла 22 кГц, амплитуда напряжений в середине образца достигала 20, 30 и 40 МПа.

Микроструктура всех полученных образцов исследовалась на просвечивающем электронном микроскопе JEM2000EX. Фольги для электронно-микроскопических исследований вырезали из центральной части образцов в продольном и поперечном направлениях и готовили стандартными методами на приборе для струйной полировки.

Рентгеноструктурный анализ (РСА) исследуемых цилиндрических образцов проводился на рентгеновском дифрактометре ДРОН 4-07 в плоскости, перпендикулярной оси цилиндра.

Испытания на растяжения проводили при комнатной температуре со скоростью деформации $5 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$ на плоских образцах с рабочей частью $2.0 \times 4.0 \times 18 \text{ мм}$ на испытательной машине Instron. Растяжение проходило вдоль плоскости, параллельной оси исходных цилиндрических образцов.

Структура после РКУП является неравновесной: границы видимых зерен искривлены и имеют плохо определяемые границы, внутренние объемы зерен имеют большое количество видимых дефектов и субграниц (рис.1а). Исследование микроструктуры после УЗО с амплитудами 20 и 30 МПа показывает, что в этих двух случаях наблюдается меньшая плотность дефектов внутри зерен, а границы зерен становятся более ровными и четкими (рис.1б, в), то есть структура становится более равновесной. После УЗО с амплитудой 40 МПа микроструктура практически не отличается от исходной деформированной структуры (рис.1г), то есть данная обработка релаксации структуры не способствует. УЗО не повлияла на размер зерен: во всех четырех состояниях их средний размер был около 400-450 нм.

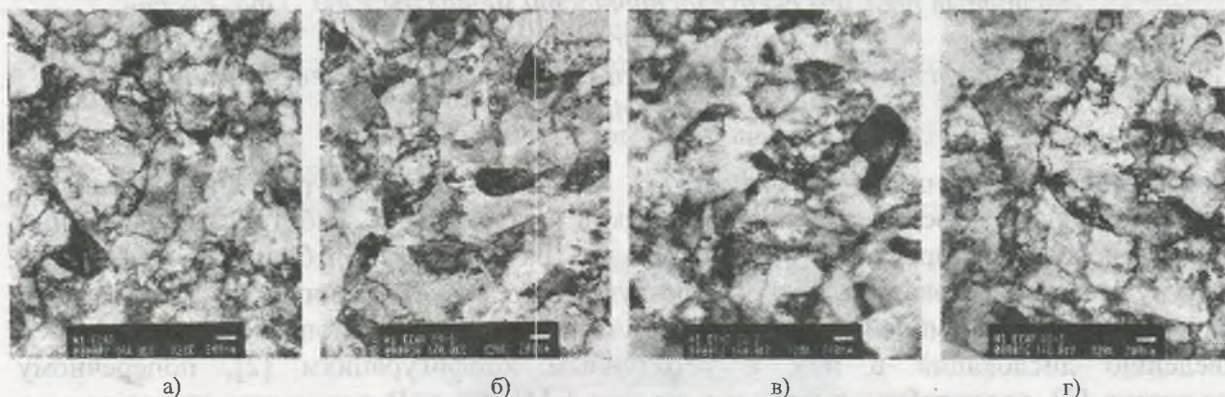


Рисунок 1 – Микроструктура никеля в поперечном сечении после РКУП (а) и УЗО с амплитудами напряжения в середине образца 20 (б), 30 (в) и 40 МПа (г).

В табл. 1 видно, что УЗО способствует снижению внутренних напряжений, причем наибольший релаксирующий эффект оказывает ультразвук с амплитудой сдвигающих напряжений 20 МПа, что согласуется с микроструктурными исследованиями.

Состояние	ОКР, Å	Микро-напряжения, $\sqrt{\langle e^2 \rangle}$	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	δ , %
РКУП	3157±256	11,00·10 ⁻⁴	505±40	910±35	12±1
УЗО 20 МПа	2444±123	9,29·10 ⁻⁴	500±40	950±43	14,5±0,7
УЗО 30 МПа	3139±221	9,88·10 ⁻⁴	530±43	964±50	13,5±0,7
УЗО 40 МПа	2974±203	9,80·10 ⁻⁴	540±50	940±38	8,7±1,2

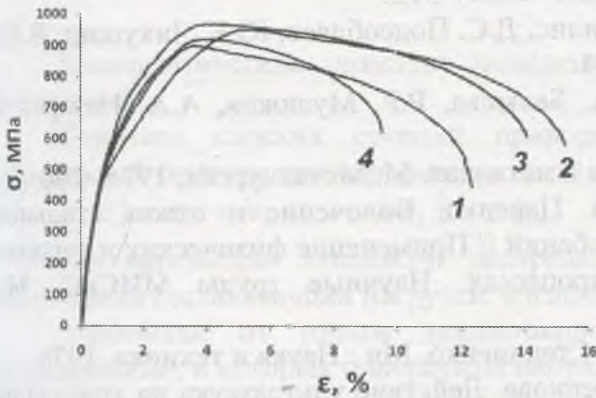


Рисунок 2 – Кривые растяжения никеля после РКУП (1), РКУП и УЗО с амплитудами 20 (2), 30 (3) и 40 МПа (4).

Результаты механических испытаний представлены в табл. 1 и на рис. 2. Видно, что при амплитуде 20 МПа наблюдается повышение пластичности на 2,5%, при этом предел прочности и условный предел текучести также немного возрастают. При амплитуде УЗО 30 МПа пластичность повышается на 1,5%. При амплитуде 40 МПа, напротив, наблюдается снижение пластичности и небольшое упрочнение по сравнению с исходным деформированным состоянием. Этот результат представляется неоднозначно зависящим от уровня внутренних напряжений в образце (см. табл. 1) и, возможно, связан с образованием субгранц в результате УЗО с данной амплитудой.

Результаты проведенного эксперимента показывают, что УЗО является эффективным способом воздействия на структуру деформированного материала с целью улучшения его свойств. Прослеживается зависимость эффекта, вызываемого ультразвуком, от амплитуды сдвигающих напряжений. По полученным в работе результатам видно, что наибольший эффект релаксации достигается при наименьшей амплитуде воздействия 20 МПа. В этом случае наблюдается заметное снижение внутренних напряжений и плотности дефектов, а также достигается наибольшее увеличение пластичности. При этом предел прочности не снижается, а, напротив, даже немного возрастает.

Релаксирующее воздействие, по-видимому, связано с тем, что низкой амплитуды сдвигающих напряжений недостаточно для зарождения и размножения новых дислокаций, но достаточно для того, чтобы сдвинуть с мест имеющиеся в структуре дислокации, а также создать возможность поперечного скольжения за счет размножения вакансий. Такие подвижные дислокации способны выстраиваться в равновесные конфигурации [10], а также аннигилировать, что вызывает наблюдаемое снижение плотности дефектов. Важным результатом является то, что размер зерен после УЗО не меняется.

Показана эффективность УЗО как способа релаксации структуры при низких амплитудах и ее наклепа при высоких амплитудах сдвигающего напряжения. Результаты работы дополняют исследования, проведенные для плоских образцов [10], а также показывают необходимость дальнейшего изучения эффекта релаксации при меньших значениях амплитуды, чем были использованы в данной работе.

Работа была поддержана грантом РФФИ 10-08-90012-Бел_a и Программой ОЭММПУ РАН № 16. Авторы также благодарят Г.И. Рааба за изготовление образцов УМЗ никеля методом равноканального углового прессования.

Список литературы

1. S.V. Dmitriev, A.I. Pshenichnyuk, A.M. Iskandarov, A.A.Nazarova. Modelling Simul. Mater. Sci. Eng. 18 (025012),- 2010. -10pp.
2. Г.В. Бушуева, Г.М. Зиненкова, Н.А. Тяпунина, В.Т. Дегтярев, А.Ю. Лосев, Ф.А. Плотников // Кристаллография. -2008. -Т.53, №3. - С.507-512.
3. Н.А. Тяпунина, Г.В. Бушуева, М.И. Силис, Д.С. Подсобляев, Ю.Б. Лихущин, В.Ю. Богуненко // ФТТ. -2003. -Т.45, №5. - С.836-841.
4. А.А. Назарова, С.В. Дмитриев, Ю.А. Баимова, Р.Р. Мулюков, А.А. Назаров // ФММ. -2011. -Т.111, №5. - С. 536-543.
5. А.В. Кулемин. Ультразвук и диффузия в металлах. М.:Металлургия, 1978.-200 с.
6. В.В. Клубович, В.В. Рубаник, Ю.В. Царенко. Волочение и отжиг стальной проволоки с наложением ультразвуковых колебаний // Применение физических и физико-химических методов в технологических процессах. Научные труды МИСиС. М.: Metallurgia, 1991. -С. 98-102.
7. В.П. Северденко, В.В. Клубович, А.В. Степаненко. Мн.: Наука и техника, 1976.
8. Н.А. Тяпунина, Е.К. Наими, Г.М. Зиненкова. Действие ультразвука на кристаллы с дефектами. М.: МГУ, 1999. -238 с.
9. Назарова А.А., Мулюков Р.Р., Рубаник В.В., Царенко Ю.В., Назаров А.А. // ФММ. -2010. -Т.110, №6. - С.600-607.
10. Назаров А.А., Ханнанов Ш.Х. // ФХОМ. -1986. -№ 4. - С.109-114.

БИМЕТАЛЛИЧЕСКАЯ ПЛАСТИНА ИЗ СТАЛИ И НИТИНОЛА ПРИ ИЗГИБЕ САМОУРАВНОВЕШЕННОЙ НАГРУЗКОЙ И ВОССТАНОВЛЕНИИ ФОРМЫ: ОДНОМЕРНОЕ ПРИБЛИЖЕНИЕ

Пряхин С.С., Рубаник В.В. мл.

*Институт технической акустики НАН Беларуси, Витебск, Беларусь
sspryakhin@yandex.by, jr@tut.by*

При разработке структурных композиций, сочетающих такие разнородные материалы, как сплав с памятью формы (СПФ) и упругопластическая сталь, следует учитывать особенности их отклика на термомеханическую нагрузку. Сталь выдерживает значительные напряжения ~ 1000 МПа, не теряя упругопластичности, но может разрушаться при деформациях выше 3%. Нитинол выдерживает деформации, более чем вдвое превышающие эту величину, однако при напряжениях выше 700 МПа теряет функциональные свойства обратимости формы под действием пластичности. В настоящей работе представлены уравнения для расчета поведения биметаллической пластины, композиция которой сочетает слои материалов с памятью формы и упругопластичностью. В отличие от ранее опубликованной работы [1], представленные уравнения позволяют анализировать не только фазу механического нагружения, но и фазы разгрузки и восстановления формы при температурном воздействии.

Модельный объект, биметаллическая пластина, условно изображен на рисунке. Он имеет слой толщиной h_1 из нитинола, сплава с памятью формы, и слой упругопластической стали толщиной h_2 . Объект подвергается изгибу концевой самоуравновешенной нагрузкой, разгружается и проходит фазу восстановления формы в цикле нагрева и охлаждения.