

Влияние условий нагружения на сопротивление деформированию сплава АМгб при электродинамической обработке

Л. М. Лобанов, Н. А. Пашин, О. Л. Миходуй

Институт электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины, Киев, Украина

Исследовано влияние электродинамической обработки на снижение сопротивления деформированию и эффект Портевена–Ле Шателье для сплава АМгб при различных условиях растяжения исследуемых образцов. Показано влияние электродинамической обработки на условный предел текучести и предел прочности сплава АМгб.

Ключевые слова: электродинамическая обработка, начальные напряжения, плоский образец прямоугольного сечения, алюминиевый сплав, разряд тока, зарядное напряжение, схема нагружения, эффективность обработки, снижение сопротивления деформированию, скачок напряжений.

Обозначения

σ_0	– начальное напряжение
$\Delta\sigma$	– снижение напряжения в момент действия импульса тока
$(\Delta\sigma/\sigma_0)\cdot 100\%$	– относительная эффективность процесса электродинамической обработки
U	– зарядное напряжение конденсатора
C	– емкость заряда конденсатора
$\sigma_{0,2}$	– условный предел текучести
$\sigma_{\text{в}}$	– предел прочности
$\delta_{\text{ЭДО}}^{\text{пр}}$	– относительное остаточное удлинение металла после ЭДО
$\delta^{\text{пр}}$	– относительное остаточное удлинение металла при различных значениях σ_0
$\Delta\sigma_{\text{с}}$	– величина скачка напряжений
σ'_0	– среднее значение текущего напряжения в области скачка напряжений
$(\Delta\sigma_{\text{с}}/\sigma_0)\cdot 100\%$	– амплитуда скачка напряжений

Введение. Методы обработки металлических материалов путем воздействия импульсных электромагнитных полей находят все более широкое применение при регулировании напряженного состояния элементов сварных конструкций [1, 2]. Одним из таких методов является электродинамическая обработка (ЭДО). Ранее проводили исследования механизмов влияния ЭДО на напряженное состояние алюминиевых сплавов [3], малоуглеродистых конструкционных сталей, а также сварных соединений из этих материалов [4, 5]. Изучали особенности эволюции микро- и макроструктур [6], пластического деформирования [7] и остаточного формоизменения [8] металлов и сплавов

при ЭДО. Апробацию метода осуществляли на тонколистовых судокорпусных конструкциях из легких сплавов [9]. При этом результаты исследований [1, 3–8] базировались на разработанной экспериментальной методике, основанной на растяжении плоских образцов, их обработке разрядами тока с текущим контролем изменения нагрузки, которое принимали за оценочную характеристику ЭДО. Отдельные результаты исследований по определению влияния схемы нагружения образцов на величину снижения уровня начальных растягивающих напряжений в образцах из сплава АМгб при ЭДО приведены в [3], однако они не получили развития в дальнейших работах. В то же время условия закрепления и нагружения исследуемых образцов влияют на предел прочности металлических материалов при импульсных нагрузках [10] и на процессы, инициируемые в металлах и сплавах при прохождении разрядов электрического тока [11].

Цель настоящей работы заключается в изучении влияния параметров нагружения сплава АМгб на снижение сопротивления металла деформированию при ЭДО.

Методика исследования. Чтобы оценить влияние ЭДО на снижение уровня начальных напряжений в материале, проводили обработку предварительно растянутых плоских образцов прямоугольного сечения с размерами рабочей части $150 \times 30 \times 4$ мм. Для генерирования импульсного тока использовали описанную ранее [5] установку, а ЭДО выполняли посредством контакта медного электрода с поверхностью металла на рабочей части образца (рис. 1).

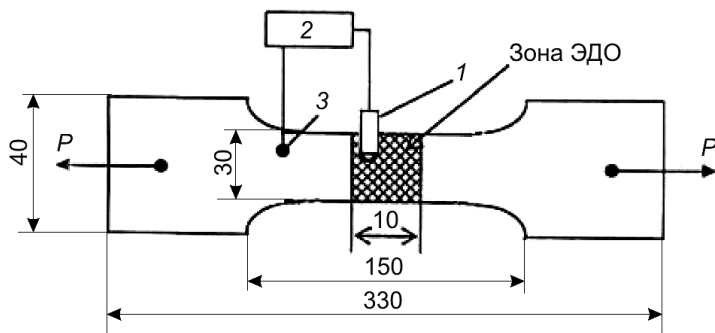


Рис. 1. Схема ЭДО и геометрические характеристики образцов из сплава АМгб: 1 – электрод; 2 – батарея конденсаторов; 3 – крепление контактного провода (P – нагрузка при растяжении).

Растяжение образцов осуществляли на разрывной машине второго класса ЦДМ-10 с максимальной растягивающей нагрузкой 98000 Н при скорости деформирования 0,1 мм/с и температуре 293 К. Машина укомплектована ручной системой точной регулировки нагрузки, маятниковым силоизмерителем и относится к устройствам с замкнутым силовым контуром. Выбор данного типа машины исключает возможность неконтролируемого деформирования и разрушения образца при импульсном нагружении, что в ряде случаев имеет место при использовании силовых устройств с автоматическим поддержанием скорости нагружения [11].

Исследовали две схемы нагружения образцов из сплава АМгб (рис. 2). Согласно первой схеме, используемой ранее [3–7], растяжение проводили дискретно, с остановкой для выполнения ЭДО образцов сериями одиночных

импульс тока и фиксацией падения деформирующей нагрузки (рис. 2,а). При этом расстояние между силовой и установочной траверсами не изменяли в течение всего цикла ЭДО, которую проводили по неподгружаемой схеме, т.е. в условиях дискретного снижения запаса упругой энергии системы образец–машина. Таким образом, каждый последующий импульс тока в серии воздействовал на материал образца, частично разгруженный предыдущим разрядом. При второй схеме падение нагрузки после каждого импульса тока компенсировали посредством подгрузки образца установочной траверсой в ручном режиме, что позволяет восстанавливать исходный уровень нагрузки образца после каждого разряда тока (рис. 2,б).

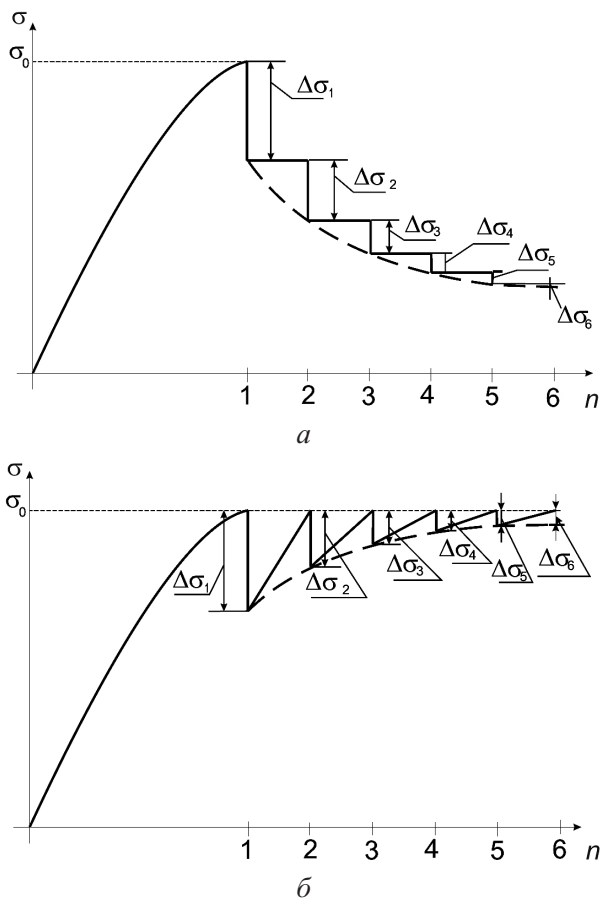


Рис. 2. Схемы нагружения образцов из сплава АМгб: а – по неподгружаемой схеме; б – по схеме восстановления начального уровня нагрузки (σ_0 – начальное значение напряжений; n – количество разрядов тока; $\Delta\sigma$ – снижение напряжения в момент действия импульса тока, что отражает сопротивление металла деформированию при действии n -го токового разряда).

Электродинамическую обработку проводили при трех уровнях зарядного напряжения ($U = 200, 300, 500$ В) и емкости конденсаторной батареи $C = 6000$ мкФ сериями по шесть импульсов. Отожженные образцы металла, предварительно нагруженные до значений начальных напряжений 50...294 МПа, подвергали обработке.

Влияние ЭДО оценивали по снижению сопротивления деформированию $\Delta\sigma$ образцов из сплава АМг6 и относительному изменению напряжения $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$. При этом начальное растягивающее напряжение σ_0 составляет 55...61, 135...153, что близко к значениям остаточных напряжений в сварных соединениях сплава АМг6, и 268...294 МПа.

Обсуждение результатов. Зависимость $\Delta\sigma$ и $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ от количества разрядов тока n при различных значениях начальных растягивающих напряжений σ_0 и зарядного напряжения U представлена на рис. 3. Следует отметить, что значения измеряемых параметров для двух схем нагружения идентичны после первого токового разряда (на рис. 3 $n = 1$). Это обусловлено тем, что реализацию условий нагружения (рис. 2) начинали после второго токового разряда ($n = 2$) и продолжали до завершения цикла ЭДО.

Анализ данных, приведенных на рис. 3,а, показывает, что при малых значениях $U = 200$ В и $\sigma_0 = 61$ МПа условия нагружения практически не влияют на сопротивление деформированию материала $\Delta\sigma$, что подтверждается практическим совпадением кривой 1 с кривой 2. При повышении начального уровня напряжений σ_0 до 153 МПа разность значений $\Delta\sigma$ после второго разряда достигает 5 МПа (на рис. 3,а кривые 3, 4), а выше условного предела текучести сплава АМг6 – до 10...12 МПа (кривые 5, 6). Таким образом, последовательное подгружение образцов обеспечивает более высокие значения $\Delta\sigma$ в течение цикла ЭДО по сравнению с некомпенсированным нагружением. Об этом свидетельствуют данные исследования влияния условий нагружения на относительное изменение напряжений $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ (рис. 3,б). При малых уровнях начальных напряжений (61 МПа) условия нагружения образцов не влияют на $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ (на рис. 3,б кривые 1, 2). С повышением начальной нагрузки до 153...294 МПа последовательное подгружение позволяет увеличить значения $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ до 5% по сравнению с неподгружаемой схемой (кривые 3, 4 и 5, 6).

При повышении величины зарядного напряжения U до 300 В характер зависимостей сопротивления деформированию от условий нагружения существенно изменяется уже при малых значениях $\sigma_0 = 55$ МПа. Использование подгружения образцов позволяет увеличить значения $\Delta\sigma$ на 3...5 МПа в течение ЭДО (на рис. 3,в кривые 1, 2) в отличие от образцов, обработанных при $U = 200$ В (рис. 3,а). Более заметно влияние подгружения при начальных напряжениях $\sigma_0 = 135$ и 268 МПа, где разность значений $\Delta\sigma$ составляет соответственно 15 (на рис. 3,в кривые 3, 4) и 30 МПа (кривые 5, 6). Повышение зарядного напряжения до 300 В при использовании подгружения приводит к росту значений $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ на 3...10% уже при $\sigma_0 = 55$ МПа по сравнению с неподгружаемой схемой в течение ЭДО (на рис. 3,г кривые 1, 2). При повышении σ_0 до 135 МПа разность значений $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ для двух схем нагружения составляет 10...12% (на рис. 3,г кривые 3, 4), как и при $\sigma_0 > \sigma_{0,2}$ (кривые 5, 6).

Максимальное влияние условий нагружения отмечается при ЭДО с зарядным напряжением $U = 500$ В, при котором разность значений сопротивления сплава АМг6 деформированию при $\sigma_0 = 60$ МПа достигает 15...17 МПа (на рис. 3,д кривые 1, 2), при $\sigma_0 = 147$ МПа – 40 МПа (кривые 3, 4), при $\sigma_0 = 292$ МПа – 60 МПа (кривые 5, 6). Это подтверждают также значения

$(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ при $U = 500$ В, которые при нагрузках 60 (на рис. 3,е кривые 1, 2) и 292 МПа (кривые 5, 6) отличаются на 25...30%, что в три раза выше, чем при $U = 300$ В. Наибольшее влияние условий нагружения отмечается при $\sigma_0 = 147$ МПа (на рис. 3,е кривые 3 и 4), где разность значений $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ для применяемых схем нагружения достигает 40%, что в четыре раза выше, чем при $U = 300$ В, и в 13 раз, чем при $U = 200$ В.

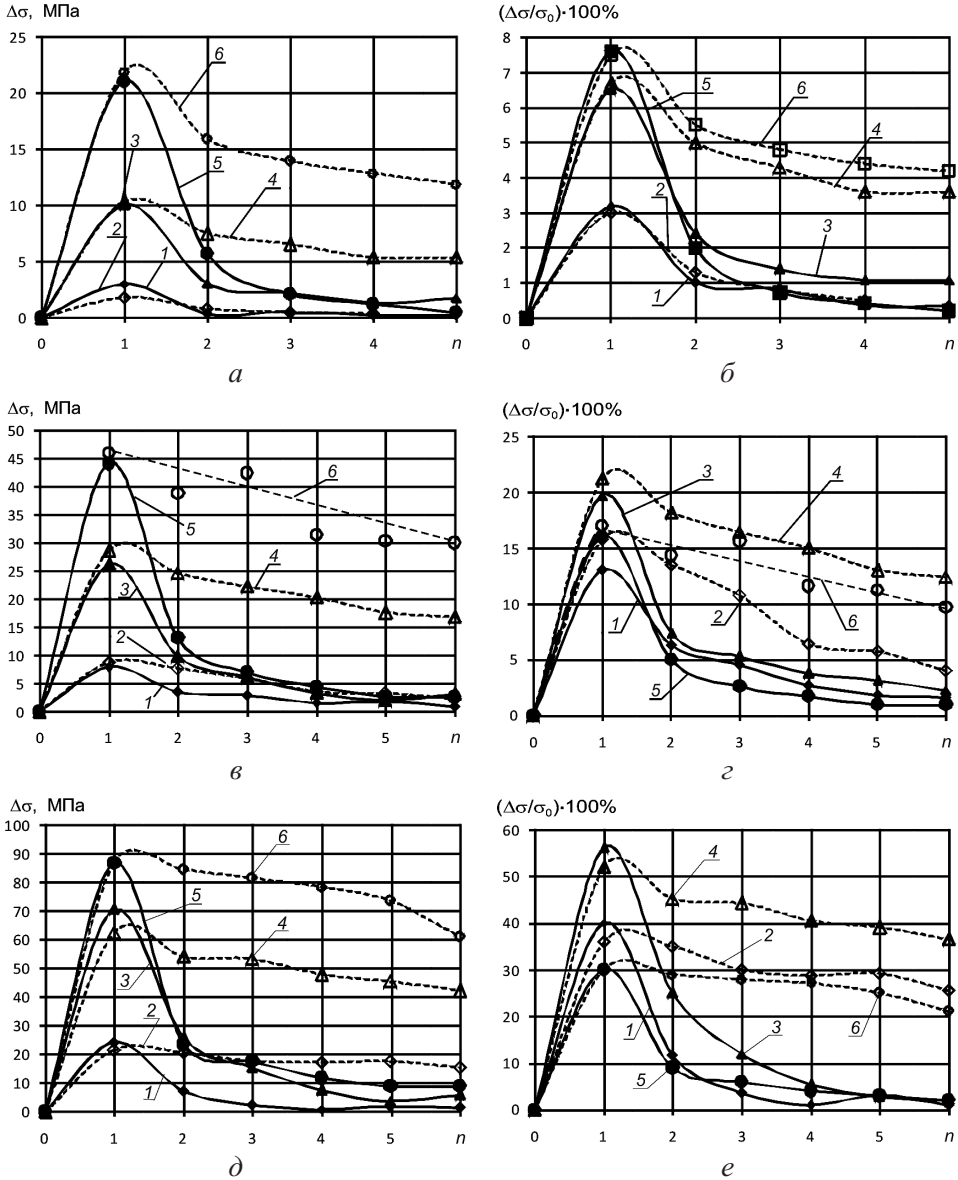


Рис. 3. Зависимость снижения сопротивления деформированию $\Delta\sigma$ (а, в, д) и эффективности обработки $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ (б, г, е) сплава АМг6 от количества разрядов тока n при различных схеме нагружения и значениях зарядного напряжения U , начального растягивающего напряжения σ_0 без подгружения (1, 3, 5) и с подгружением (2, 4, 6): а, б – $U = 200$ В, $\sigma_0 = 61$ МПа (1, 2), $\sigma_0 = 153$ МПа (3, 4), $\sigma_0 = 294$ МПа (5, 6); в, г – $U = 300$ В, $\sigma_0 = 55$ МПа (1, 2), $\sigma_0 = 135$ МПа (3, 4), $\sigma_0 = 268$ МПа (5, 6); д, е – $U = 500$ В, $\sigma_0 = 60$ МПа (1, 2), $\sigma_0 = 147$ МПа (3, 4), $\sigma_0 = 292$ МПа (5, 6).

На основании данных рис. 3 можно заключить, что снижение уровня начальных напряжений в результате электродинамических воздействий прямо зависит от энергии разряда, определяемого зарядным напряжением U .

Максимальные значения относительного изменения напряжений при ЭДО в диапазоне $U = 200...500$ В (рис. 3, б, з, е) соответствуют уровню начальных напряжений σ_0 , близких к 150 МПа – максимальному уровню остаточных сварочных напряжений в сплаве АМгб. Это создает предпосылки для исследования применимости ЭДО как способа обработки сварных соединений тонколистовых конструкций из сплава АМгб с целью снижения уровня остаточных напряжений. Уменьшение значений $(\Delta\sigma/\sigma_0) \cdot 100\%$ при повышении σ_0 до 268...294 МПа можно объяснить тем, что при температуре 293 К с ростом модуля упрочнения в конструкционных сплавах величина $\Delta\sigma$ уменьшается в момент прохождения импульса тока [12].

Изучали влияние ЭДО образцов при различных условиях растяжения на значения условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ и предела прочности σ_B сплава АМгб (табл. 1). С этой целью после обработки образцов, предварительно нагруженных до значений σ_0 , соответствующих $0,4\sigma_{0,2}$, $(0,96...1,07)\sigma_{0,2}$ и $1,95\sigma_{0,2}$, нагрузку сбрасывали и измеряли относительное остаточное удлинение образцов $\delta_{\text{ЭДО}}^{\text{пр}}$, полученное в результате совместного действия электродинамического импульса и нагружения. Затем образцы подвергали повторному нагружению до разрушения. Значения условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ и предела прочности σ_B сплава АМгб в исходном состоянии и после предварительного упрочнения при $\sigma_0 = 270$ МПа представлены в табл. 1 (серии образцов 1, 2).

Т а б л и ц а 1

Механические характеристики сплава АМгб после ЭДО

№ серии образцов	U , В	σ_0 , МПа	Без подгружения		С подгружением	
			$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа
1	Без ЭДО	–	140	314	–	–
2		270	235	297	–	–
2*	200	60	140	315	145	313
3**		150	145	313	157	315
4***		270	253	329	253	329
5*	300	55	140	313	145	313
6**		135	145	315	166	320
7***		270	260	330	266	335
8*	500	60	140	314	145	315
9**		145	165	313	170	323
10***		285	260	330	270	326

Примечание. Одной звездочкой обозначено начальное напряжение $\sigma_0 = 0,4\sigma_{0,2}$, двумя – $\sigma_0 = (0,95...1,1)\sigma_{0,2}$, тремя – $\sigma_0 = 1,95\sigma_{0,2}$.

Анализ данных табл. 1 показывает, что во всем исследованном диапазоне значений зарядного напряжения $U = 200...500$ В и начальном напряжении 60 МПа (серии образцов № 2*, 5*, 8*) ЭДО не влияет на значения $\sigma_{0,2}$ и σ_B независимо от условий нагружения. Это справедливо также при $U = 200$ В и $\sigma_0 = 150$ МПа (серия образцов № 3**). При нагружении за пределом текучести сплава АМгб после ЭДО при всех U значения $\sigma_{0,2}$ и σ_B увеличиваются по сравнению с таковыми материала в исходном состоянии (серии образцов № 1, 2, 4***, 7***, 10***). Это можно объяснить упрочняющим воздействием ЭДО [3]. При $U = 300$ В и $\sigma_0 = 135$ МПа при использовании схемы подгрузки образцов имеет место повышение значений $\sigma_{0,2}$ и σ_B , в то время как при $U = 500$ В увеличение значений $\sigma_{0,2}$ отмечается при $\sigma_0 = 145$ МПа для двух схем нагружения (серия образцов № 9**).

Результаты измерения величин предварительного относительного удлинения δ^{pp} образцов при начальных напряжениях σ_0 в диапазоне 60...300 МПа, а также после ЭДО $\delta_{ЭДО}^{pp}$ при σ_0 в диапазоне 60...275 МПа представлены в табл. 2. Как видно, при нагружении образцов без ЭДО до $\sigma_0 = 150$ МПа относительное удлинение δ^{pp} равно нулю (серии образцов № 1, 2), при начальных напряжениях $\sigma_0 = 270...300$ МПа оно составляет менее 11% (серии образцов № 3, 4). При значениях $\sigma_0 = 55...60$ МПа электродинамическое воздействие не вызывает изменения остаточного удлинения ($\delta_{ЭДО}^{pp} = 0$) в диапазоне значений $U = 200...500$ В (в табл. 2 серии образцов № 1, 5, 8). В образцах, нагруженных до $\sigma_0 = (0,95...1,1)\sigma_{0,2}$ и обработанных при $U = 200$ и 300 В, отмечается изменение $\delta_{ЭДО}^{pp}$ соответственно до 0,2 и 1,7%. При этом условия нагружения незначительно влияют на изменение $\delta_{ЭДО}^{pp}$, что видно из данных табл. 2. Заметим, что если при напряжениях заряда до 300 В подгрузка металла не оказывает существенного влияния на значения $\delta_{ЭДО}^{pp}$, то при $U = 500$ В при различных схемах нагружения они отличаются более чем в два раза (в табл. 2 серия образцов № 12).

При нагружении за пределом текучести электродинамический импульс воздействует на пластически упрочненный материал, вследствие чего значения $\delta_{ЭДО}^{pp}$ увеличились (в табл. 2 серии образцов № 7, 10, 13). В то же время, если при начальном растяжении образцов до $\sigma_0 = 270$ МПа без применения электродинамического воздействия $\delta^{pp} = 7,5\%$, то при равной нагрузке с ЭДО с напряжением заряда $U = 300$ В значения $\delta_{ЭДО}^{pp}$ не превышают 9,5%. С увеличением растягивающей нагрузки до 300 МПа без ЭДО значения δ^{pp} достигают 10,5%. При ЭДО значения $\delta_{ЭДО}^{pp} = 10,5\%$ достигают при нагружении образцов до меньших σ_0 (275 МПа). Повышенные значения $\delta_{ЭДО}^{pp}$ по сравнению с исходными δ^{pp} можно объяснить тем, что при ЭДО при электрических параметрах токового разряда, определяемых напряжением U в диапазоне 300...500 В, рост удлинения нагруженных образцов происходит за счет электродинамического воздействия на обрабатываемый металл. Его суть

заключается в ударном воздействии электрода при контакте с поверхностью образца в момент прохождения через обрабатываемый участок токового разряда (рис. 1). Механизм электродинамического воздействия можно объяснить с позиций электронно-дислокационного взаимодействия электронов проводимости в период действия токового импульса с дислокационными скоплениями. Ударная нагрузка, величина которой при выбранном диапазоне напряжений заряда составляет 8100...20460 Н [13], является синхронизирующим воздействием для прорыва барьеров скоплениями дислокаций. Импульсный ток обеспечивает продвижение дислокаций потоком электронов при его воздействии на нагружаемый образец. Электронно-дислокационное взаимодействие при низкотемпературной скачкообразной деформации монокристаллов алюминия (99,9999%) экспериментально подтверждено в [14].

Т а б л и ц а 2

Значения $\delta^{\text{пр}}$ и $\delta_{\text{ЭДО}}^{\text{пр}}$ образцов сплава АМг6 при различных схемах нагружения

№ серии образцов	U , В	σ_0 , МПа	$\delta^{\text{пр}}$, % (строки 1–4); $\delta_{\text{ЭДО}}^{\text{пр}}$, % (строки 5–13)	$\delta_{\text{ЭДО}}^{\text{пр}}$, %, с подгружением
1	Без ЭДО	60	0	–
2		150	0	–
3		270	7,5	–
4		300	10,5	–
5	200	60	0	0
6		150	0,1	0,20
7		270	7,6	7,85
8	300	55	0	0
9		135	1,5	1,70
10		270	9,2	9,30
11	500	60	0	0
12		145	2,0	5,00
13		275	10,5	12,50

На основании результатов испытаний на растяжение образцов из сплава АМг6 изучали влияние ЭДО при различных условиях нагружения на кинетику скачкообразной деформации (эффект Портевена–Ле Шателье). Диаграммы деформирования металла в исходном состоянии, при предварительном деформировании до значений $\delta^{\text{пр}} = 7,5\%$, а также при двух схемах нагружения с ЭДО при $U = 200$ В представлены на рис. 4, где эффект Портевена–Ле Шателье проиллюстрирован в виде скачков напряжений с различной амплитудой и периодичностью. Проводили оценку амплитуды скачка напряжений $(\Delta\sigma_c/\sigma'_0) \cdot 100\%$, где $\Delta\sigma_c$ – величина скачка напряжений; σ'_0 – сред-

нее значение напряжений, определяемое как среднеарифметическое минимального и максимального значений в области скачка. При растяжении металла без применения ЭДО (рис. 4,а) скачки напряжений наблюдаются в области пластического течения при значениях относительного удлинения $> 14\%$, затем монотонно возрастают до максимальных значений $(\Delta\sigma_c/\sigma'_0) \cdot 100\%$, не превышающих 10...11%. Максимальные значения амплитуды скачка напряжений соответствуют развитой стадии деформации металла образца при его удлинении до 28%.

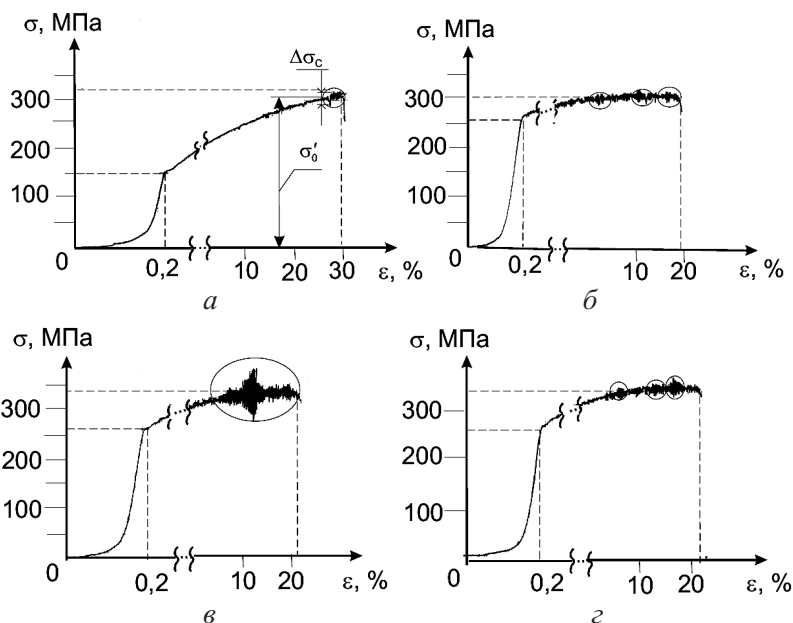


Рис. 4. Диаграммы деформирования сплава АМгб при одноосном растяжении: а – растяжение до разрушения образцов в исходном состоянии; б – разрушение предварительно растянутых образцов до $\delta^{pp} = 7,6\%$; в, з – разрушение образцов после ЭДО при $\sigma_0 = 270$ МПа, $U = 200$ В по схеме без подгружения и с подгружением соответственно.

Распределение скачка напряжений по стадиям деформирования образцов, предварительно нагруженных до значений $\delta^{pp} = 7,5\%$, представлено на рис. 4,б. В этом случае скачки начинаются при значениях напряжений, превышающих величину условного предела текучести упрочненного металла – 250 МПа, монотонно возрастают до 10% с последующим спадом. На участке диаграммы за пределом текучести имеют место несколько максимальных значений скачка напряжений, последний из которых соответствует удлинению образца до 20%, после чего наступает разрушение.

Значения условного предела текучести и относительного удлинения до разрушения на диаграммах деформирования при растяжении образцов, обработанных без подгружения (рис. 4,в) и с подгружением (рис. 4,з), близки к величинам, показанным на рис. 4,б. При этом на образцах без подгружения (рис. 4,в) скачки напряжений начинаются после относительного удлинения, превышающего 1,0%, при монотонном нарастании их амплитуды до максимального значения 35% с последующим спадом до нуля на участке предраз-

рушения. При подгрузении (рис. 4,з) скачки напряжений появляются при удлинении выше 1,0%, а их амплитуда и распределение на диаграмме деформирования аналогичны таковым на диаграмме, представленной на рис. 4,б.

Следует отметить, что практически при равенстве значений предварительных относительных удлинений $\delta^{\text{пр}}$ образцов без ЭДО (в табл. 2 серия образцов № 3) и $\delta_{\text{ЭДО}}^{\text{пр}}$ образцов, полученных после ЭДО без подгрузения (серия образцов № 7), характер скачков, представленных на рис. 4,б,в, разный. Сравнение диаграммы деформирования на рис. 4,б с таковой на рис. 4,з показывает, что визуально они подобны, чему соответствует примерное равенство значений $\delta^{\text{пр}}$ и $\delta_{\text{ЭДО}}^{\text{пр}}$. При этом максимальная величина амплитуды скачков при растяжении подгруженных образцов достигает 12%. Визуально диаграммы для двух схем нагружения образцов с ЭДО разные во всем диапазоне используемых зарядных напряжений U . Изменение U существенно не влияет на амплитудные значения скачков. Сравнение диаграмм, представленных на рис. 4,в,з, свидетельствует о том, что эффект Портевена–Ле Шателье на образцах без подгрузения реализуется в виде резкого перехода от монотонного деформирования к скачкообразному с величиной скачка большей, чем при подгрузении. На основании данных работы [10] можно заключить, что скачки начинаются, когда в металле имеются структурные неоднородности, вызванные его пластическим деформированием. Согласно [7], электродинамическое воздействие инициирует в материале локализованные области пластического течения, определяющие параметры скачков. Так, локализация области образования скачков на диаграмме рис. 4,в вызвана разным уменьшением значений $\Delta\sigma$ с ростом количества разрядов тока, при котором максимальные $\Delta\sigma$ наблюдаются после первого токового воздействия (на рис. 3,а кривые 1, 3, 5). Таким образом, величину скачков и их распределение на диаграмме деформирования при нагружении образцов по схеме, соответствующей рис. 2,а, задает область пластического течения, сформированная в основном первым токовым разрядом. При нагружении образцов по схеме, показанной на рис. 2,б, деформирование металла в результате ЭДО происходит более равномерно, вследствие чего скачки распределяются по всей диаграмме, а их максимальные значения меньше, чем при нагружении по схеме, представленной на рис. 2,а.

Выводы

1. Разработана экспериментальная методика для изучения влияния схем нагружения на снижение сопротивления деформированию плоских образцов прямоугольного сечения из сплава АМг6 при ЭДО.

2. Установлено, что ЭДО предварительно деформированных образцов из сплава АМг6 при их последующем нагружении до уровня напряжений 55...294 МПа снижает сопротивление материала деформированию по сравнению с таковым без подгрузения материала.

3. Показано, что ЭДО при зарядном напряжении 200...500 В не приводит к уменьшению условного предела текучести и предела прочности сплава АМг6.

4. Реализуемые схемы нагружения образцов в процессе ЭДО оказывают различное влияние на развитие скачкообразной деформации сплава АМг6 (эффект Портевена–Ле Шателье). Так, для образцов без подгружения максимальная величина амплитуды скачка достигает 35%, при нагружении – не более 12%.

Резюме

Досліджено вплив електродинамічної обробки на зниження опору деформування та ефект Портевена–Ле Шательє для сплаву АМг6 за різних умов розтягування дослідних зразків. Виявлено вплив електродинамічної обробки на умовну границю текучості та границю міцності сплаву АМг6.

1. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Логинов В. П. и др. Исследование влияния импульсной обработки на повышение ресурса металлических конструкций // Автомат. сварка. – 2005. – № 11. – С. 28 – 32.
2. Степанов Г. В., Бабуцкий А. И., Мамеев И. А. и др. Перераспределение остаточных сварочных напряжений при обработке импульсным электромагнитным полем // Пробл. прочности. – 2011. – № 3. – С. 123 – 131.
3. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Логинов В. П. Влияние электродинамической обработки на напряженное состояние сварных соединений алюминиевого сплава АМг6 // Автомат. сварка. – 2007. – № 6. – С. 11 – 13.
4. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Логинов В. П. и др. Влияние электродинамической обработки на напряженное состояние сварных соединений стали Ст. 3 // Там же. – № 7. – С. 10 – 12.
5. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Логинов В. П., Скульский В. М. Влияние электродинамической обработки на напряженно-деформированное состояние теплоустойчивых сталей // Там же. – 2006. – № 5. – С. 28 – 32.
6. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Логинов В. П. Особенности структурообразования алюминиевых сплавов АМг5 и АМг6 под воздействием импульсов электрического тока // Вісн. Укр. матеріалознавчого т-ва. – 2010. – № 3. – С. 33 – 42.
7. Лобанов Л. М., Махненко В. И., Пащин Н. А. и др. Особенности формирования пластических деформаций при электродинамической обработке сварных соединений стали Ст. 3 // Автомат. сварка. – 2007. – № 10. – С. 10 – 15.
8. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Логинов В. П. Влияние электроимпульсной обработки на остаточные формоизменения тонколистовых сварных конструкций // Там же. – 2010. – № 3. – С. 13 – 17.
9. Лобанов Л. М., Пащин Н. А., Логинов В. П. и др. Ремонт судокорпусных конструкций из алюминиевого сплава АМг6 с применением электродинамической обработки // Там же. – № 9. – С. 39 – 41.
10. Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Ч. 2. Конечные деформации. – М.: Наука, 1984. – 432 с.

11. *Стрижало В. А., Новогрудский Л. С., Воробьев Е. В.* Прочность материалов при криогенных температурах с учетом воздействия электромагнитных полей. – Киев: Ин-т пробл. прочности им. Г. С. Писаренко НАН Украины, 2008. – 504 с.
12. *Стрижало В. А., Новогрудский Л. С., Значковский О. Я.* Сопротивление деформированию конструкционных сплавов при воздействии импульса электрического тока и криогенных температур // Пробл. прочности. – 1985. – № 5. – С. 105 – 107.
13. *Лобанов Л. М., Пацин Н. А., Черкашин А. В. и др.* Эффективность электродинамической обработки алюминиевого сплава АМг6 и его сварных соединений // Автомат. сварка. – 2012. – № 1. – С. 3 – 7.
14. *Бобров В. С., Лебедкин М. А.* Электрические эффекты при низкотемпературной скачкообразной деформации алюминия // Физика твердого тела. – 1989. – 31, № 6. – С. 120 – 124.

Поступила 01. 06. 2011