УДК 669.14.539

ДЕФОРМАЦИЯ И РАЗРУШЕНИЕ ЭЛИНВАРНОГО СПЛАВА 44НХТЮ

© Сергей Викторович Харитонов[1], Вениамин Аркадьевич Скуднов[2], Михаил Константинович Чегуров[2]

[1]ОАО АНПП «ТЕМП-АВИА»

kharitonov@temp-avia.ru

[2]Нижегородский государственный университет им. Р.Е. Алексеева

kvas@nntu.nnov.ru

Аннотация. *Приводятся данные о деформации и разрушении элинварного сплава 44НХТЮ при растяжении цилиндрических и плоских образцов с соотношением ширины к толщине от 1 до 100. Показано снижение показателей прочности, пластичности, величины энергоемкости, критериев разрушения синергетики: зарождения, распространения трещин, хрупкости, а также приведены фрактографии изломов показывающих характер изменения квазихрупкого излома.*

Ключевые слова: *элинварный сплав, механические свойства, критерии разрушения синергетики, энергоемкость, фрактография изломов, масштабный фактор.*

DEFORMATION AND DESTRUCTION OF THE ALLOY 44НХТЮ

© S.V. Haritonov, V.A. Skudnov, M.K. Chegurov

Annotation: *Data about deformation and destruction an alloy 44НХТЮ are cited at a stretching of cylindrical and flat samples with a parity of width by the thickness from 1 to 100. Decrease in strength indexes is shown, to plasticity, magnitudes of power consumption, criteria of shattering of synergetrics: origin, spreadings of cracks, friability, and also are resulted figure breaking-offs showing character of change is fragile - a viscous breaking-off.*

Keywords: *mechanical properties, criteria destruction of synergetrics, power consumption, figure of breaking-offs,the scale factor.*

Введение

Сплав 44НХТЮ – дисперсионно твердеющий сплав, который сохраняет температурную стабильность модуля упругости от – 60 до + 60 ^{0}С. Для получения оптимальных структур, обеспечивающих требуемых механических и физических свойств дисперсионно твердеющие элинвары подвергают закалке и старению. После закалки в воду с 900-950^{0}С они пластичны и могут подвергаться деформированию, в частности, различной механической обработке. При старении происходит выделение дисперсионной фазы, приводящее к упрочнению и изменению упругих, магнитных и электрических свойств сплава [1 - 4].

Цель работы: изучение механических свойств сплава при растяжении, а также влияние масштаба упругого элемента на его деформацию и разрушение.

Методика проведения исследований

В работе использовались следующие методы исследования: механические испытания стандартных цилиндрических образцов по ГОСТ 1497 [5] (тип 3) на разрывной машине УМЭ-10ТМ, испытание плоских образцов (с соотношением ширины к толщине от 1 до 100 раз) на растяжение (см. таблицу 1), изучение фрактографий изломов, расчеты

предельных механических характеристик и комплексных критериев разрушения, оценка влияния сложного напряженного состояния на разрушение образцов разного масштаба.

Все образца подвергнуты термообработки: закалка от температуры 940-960^{0}С (нагрев в чугунной стружке), выдержка 30 мин, охлаждение в воде; выдержка при 680-700^{0}С в чугунной стружке 3-3,5 ч., охлаждение до температуры 150^{0}С на воздухе; стабилизирующем старении при температуре 340-360^{0}С в течение 6-8 час; стабилизирующем старении при температуре 160-170^{0}С в течение 6-8 час, охлаждение до 150 ^{0}С, далее на воздухе.

Таблица 1 - Образцы с разной толщиной перемычек при одинаковой ширине равной b=6.0 мм

№ п п	Начальный диаметр или начальная толщина t (мм)	Соотношение ширины к толщине (b / t)
1	0,06	100
2	0,12	50
3	0,2	30
4	0,28	21,4
5	1,0	6,0
6	5,80	1,03

Результаты исследования

Результаты исследований представлены на рисунках 1 – 9 и в таблицах 2 – 3.



Рис. 1 – Фотография образца сплава 44НХТЮ (образец №6) после испытания на растяжение

На рисунке 2 представлена диаграмма растяжения образца №6 (см. таблицу 1) в координатах (P – усилие; ΔL – удлинение), полученная самописцем машины.

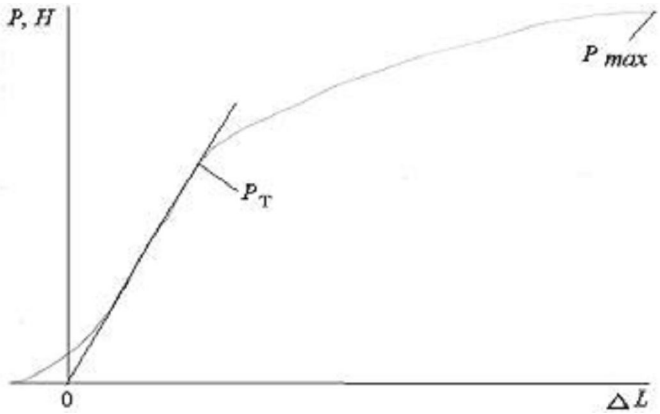


Рис. 2 – Диаграмма растяжения сплава 44НХТЮ (образец №6)

Результаты механических испытаний представлены в таблицах 2 и 3, а также на рисунках 3 и 4.

Таблица 2 - Исходные размеры и механические свойства плоских образцов

№ обр	b_0, мм	t_0, мм	l_0, мм	t, мм	L, мм	P, кг	l, мм	δ, %	F_0, мм^2	F, мм^2	$\sigma_в$, МПа	$S_к$ МПа
1	6,0	0,060	6,0		6,4	10	0,4	6	0,36	0,3375	277,4	296
2	6,0	0,12	6,0		6,35	25		10	0,72	0,68	347	368
3	6,0	0,20	6,1		6,86	1,0	0,76	12	1,2	1,07	491	935
4	6,0	0,28	6,0	0,28	7,4	170	1,4	23	1,8	1,45	944	1172
5	6,0	1,0÷0,97	6,0	0,93	7,8	650	1,8	30	6÷5,82	4,48	1080	1450

Где b_0 - исходная ширина перемычки (мм); t_0 - исходная толщина перемычки (мм); l_0 - исходная длина (мм); t – конечная толщина перемычки (мм); L – конечная длинна (мм); P – максимальная нагрузка (кг); l – абсолютное удлинение (мм); δ – относительное удлинение (%); F_0 – исходная площадь поперечного сечения (мм2); F – конечная площадь поперечного сечения (мм2); $\sigma_В$ – предел прочности (МПа); $S_К$ – сопротивление разрушению (МПа).

Таблица 3 – Механические и синергетические свойства плоских образцов

	№1	№2	№3	№4	№5	№6 (цилиндрический)
Толщина перемычки, мм.	0,06	0,12	0,20	0,28	1,0	6,0
$\sigma_т$,Мпа	~ 265	~335	491	550	650	694
$\sigma_в$,Мпа	271	347	830	944	1080	1150
S. МПа	296	368	1172	1270	1374	1410
δ, %	6	10	12	23	30	31
Wc, МДж/м^3	17	37	67	165	281	315
$К_{ЗТ}$	0,06	0,111	0,137	0,30	0,433	0,454
$К_{РТ}$, x10^5 (Мдж/м^3)^2	0,22	0,62	1.65	4,51	9,15	10,9
КХР, x10^{-7} (Мдж/м^3)^3	0,03	0,105	0,404	1,25	2,97	3,8

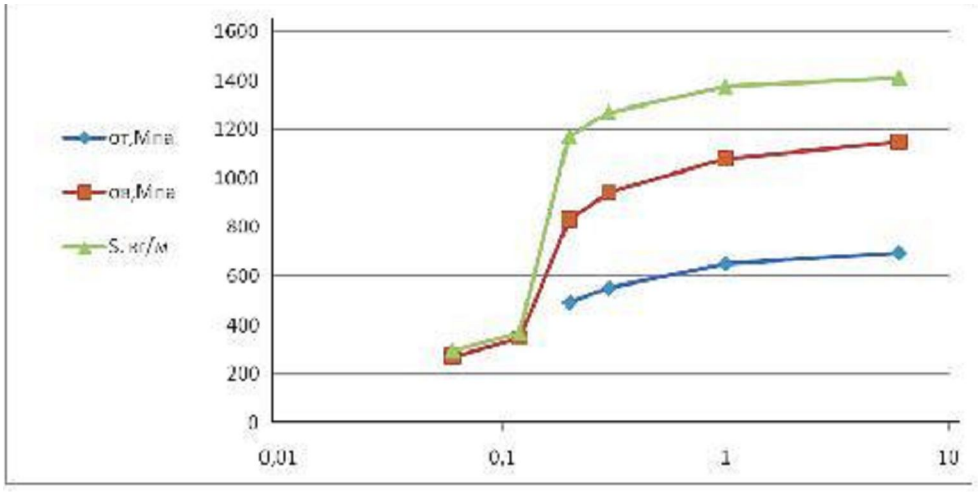


Рис. 3 - Зависимость предела текучести (нижняя линия), предела прочности (средняя линия) и сопротивления разрушению (верхняя линия) перемычек из сплава 44НХТЮ в зависимости от ее толщины

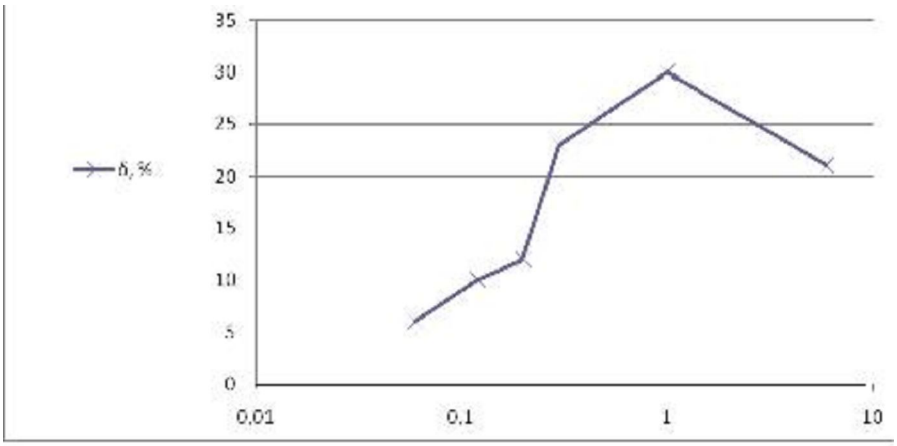
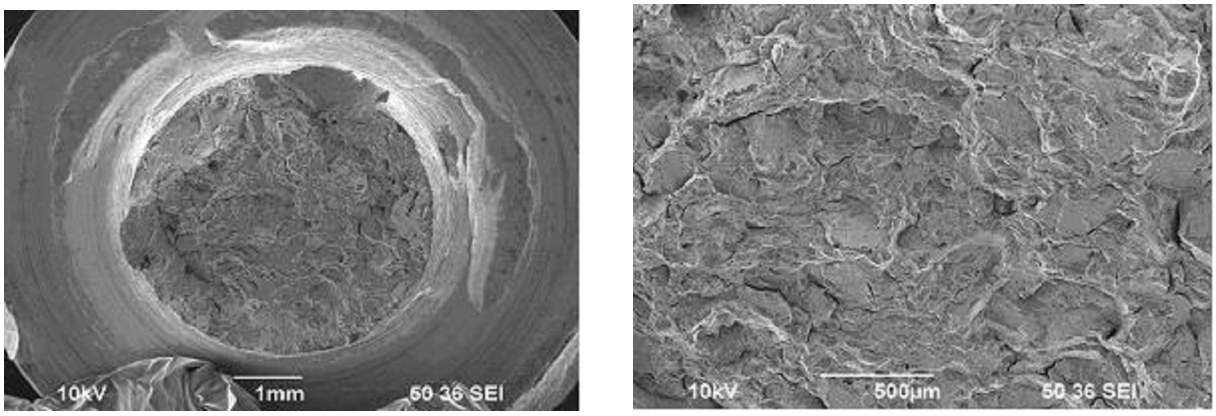


Рис. 4 - Зависимость относительного удлинения перемычек из сплава 44НХТЮ в зависимости от ее толщины



а б

Рис. 5 – Фрактографии изломов цилиндрического образца №6 при растяжение: а) общий вид, (х15); б) центральная часть, (х300)

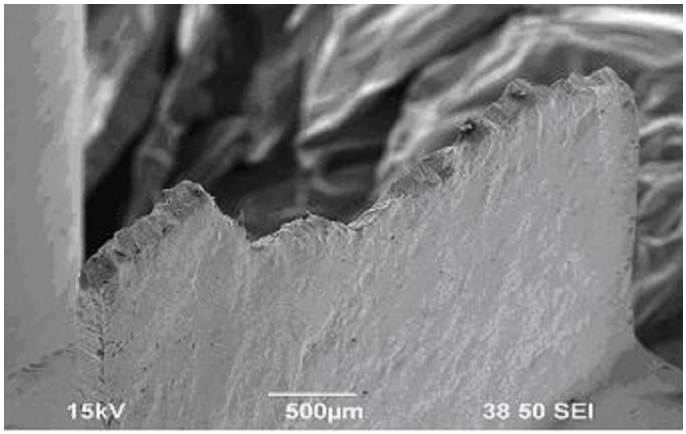


Рис. 6 - Фрактография излома образца №3 (b/t = 30) (x33)

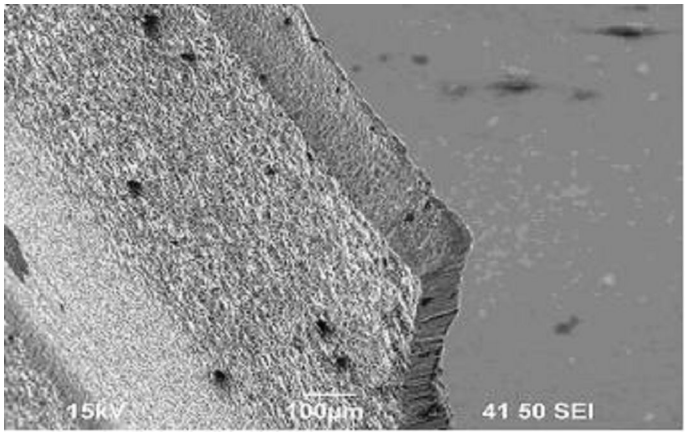


Рис. 7 - Фрактография излома образца №2 (b/t = 50) (x100)

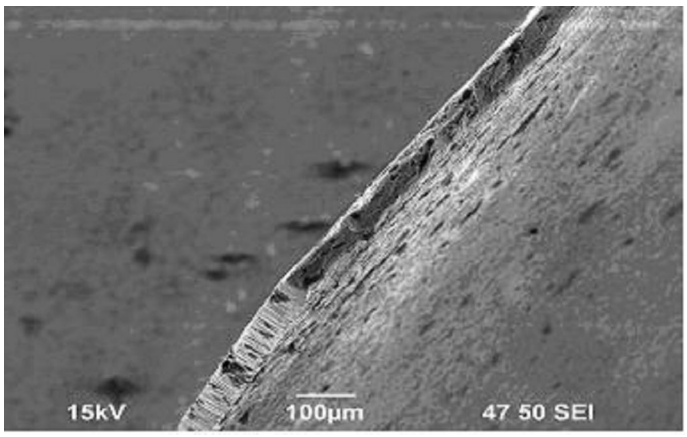


Рис. 8 - Фрактография излома образца №1 (b/t = 100),(x110)

Анализ полученных результатов

Анализ рисунков 3-4 и таблицы 3 показывает, что:

1) Диаграмма растяжения состоит только из области упрочнения, шейка отсутствует, следовательно, соблюдается закон постоянства деформируемого объёма, который выражается соотношением показателей пластичности – относительного удлинения (δ) и относительного сужения (ψ), (1 + δ) (1 - ψ)=1. Из указанного соотношения следуют значения расчётных величин δ и Ψ в текущих и конечных точках:

δ= 0,1 0,2 0,21-0,30 (конечная точка)

Ψ= 0,1 0,166 0,174- 0,27

2) Отсутствие шейки указывает на низкую релаксационную способность структуры сплава и высокую чувствительность к концентрации напряжений, чистоте поверхности и масштабу изделия. Это может проявляться в неожиданных разрушениях, как при изготовлении изделий с малыми размерами, так и последующей их эксплуатацией.

3) Предел текучести (σ_T) снижается от 695-700 до 495 МПа (при толщине перемычки 0,2 мм) и далее до 265 МПа. При малой толщине получить надежные значения предела текучести не удалось, однако наблюдается тенденция к их снижению.

4) Предел прочности снижается в 5 раз: от величины 1150 до 271 МПа, причем до толщины перемычки, равной 0,2 мм, снижение до величины 830 МПа идет медленно, а затем при снижении толщины перемычки до толщины 0,060 мм, резко снижается до значений 271 МПа (табл. 3).

5) Сопротивление разрушению снижается примерно в 4,7 раза :от 1410 до 296 МПа, причем до толщины перемычки, равной 0,2 мм, снижение идет медленно до 1172 МПа, а затем при снижении толщины перемычки до величины , равной 0,060 мм, резко снижается до 296 МПа (таблица 3).

6) Поведение (снижение значений) всех прочностных характеристик с уменьшением толщины аналогично друг другу, причем до толщины 0,2 мм снижение примерно на 30 % для пределов текучести и прочности, на 20% для сопротивления разрушению, происходит медленно, а затем резко (рисунок 4).

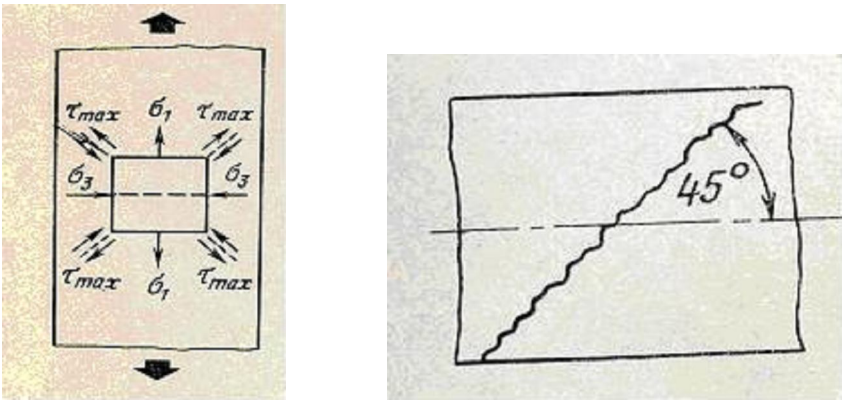
7) Показатель пластичности – относительное удлинение снижается в 5 раз: -от велтчины-30 -21 % (при значениях толщины 6,0 -.1.0 мм и ли диаметра цилиндрического образца) снижается до 6% при толщине 0,060 мм

8) В общем значения пределов текучести, прочности и сопротивления разрушению при толщине 0,060 мм сближаются друг с другом, снижаясь по сравнению с значениями прочностных характеристик цилиндрических образцов примерно в 5 раз, что является следствием падения показателя пластичности тоже в 5 раз.

9) Снижение энергоемкости от 315 до 12 МДж/м^3; критерия зарождения трещины от 0,454 до 0,06; критерия распространения трещины от 10,9 до 0,22 х10^5 (МДж/м^3)^2; критерия хрупкости от 3,8 до 0,03 , х10^{-7} (Мдж/м^3)^3 при снижении толщины образца с 6,0 до 0,06 мм.

Анализ изломов образцов №1 - №3 по данным рисунков 6-8 показывает:

В разрушении образца по мимо нормальных напряжений (отвечающих за хрупкое разрушение образца методом отрыва), присутствовали касательные напряжения (отвечающие за пластическую деформацию скольжением и т.д.), т.к. вид изломов представляет собой характерную квазихрупкого картину близко к вязкому разрушению (рисунок 9).



а б

Рис. 9 — Схема расположение нормальных и касательных напряжений при одноосном растяжении (а); схема движения трещины при преобладание максимального касательного напряжения (б)

Анализ излома образца №6 показал следующее:

Общий вид излома (рисунок 5,а) представляет собой смешенное строение, включающее участки вязкого (ямочного) и хрупкого излома, а также наличие трещин в местах межзеренного разрушения, в целом излом можно считать квазихрупким из-за отсутствия шейки и равенства δ=ψ=16 – 17%. На рисунке 5,б представлен вид в центральной части излома, отражающий наличие более однородного сочетания плоских участков хрупкого излома, ямочных участков вязкого излома и трещин в местах межзеренного разрушения.

Литература

1. Эткин Л.Г. Виброчастотные датчики: теория и практика.М.: Изд-во НГТУ им.Н.Э.Баумана, 2004.-407 с.

2. Бараз В.Р., Стрижак В. «Элинварные сплавы: особенности состава, структуры и свойств. Часть 1», ж-л «Национальная металлургия», №4, июль-август 2003 г., 95-98 с.

3. Бараз В.Р., Стрижак В. «Элинварные сплавы: особенности состава, структуры и свойств. Часть 2», ж-л «Национальная металлургия», №5, июль-август 2003 г., 105-109 с.

4. .ЧуистовК.В. Старение металлических сплавов. Киев: Наукова думка, 1985. 230 с.

5. ГОСТ 1497-84. Металлы. Методы испытаний на растяжение.

6. Я.Б. Фридман. Строение и анализ изломов металлов / М.: «МАШГНИЗ», 1960, С - 127.

7. Фрактография и атлас фрактограмм. Справочник. / Перевод с англ. Е.А. Шура под ред. М.Л. Бернштейна. М.: «Металлургия», 1982, 500с.

8. Герасимов Л.П. Изломы конструкционных сталей: Справочник. / М.: «Металлургия», 1987, 272с.

Поступила: 15.12.11.