

M. M. Susan<sup>\*</sup>, P. G. Dumitras<sup>\*\*</sup>, V. G. Ilescu<sup>\*\*\*</sup>

### EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE ULTRASONIC SOFTENING IN COLD-ROLLED STEEL STRIPS

<sup>\*</sup> "Gh. Asachi" Technical University,

Bd. D. Mangeron 63, 700050, Iasi, Romania

<sup>\*\*</sup> Institute of Applied Physics of the Academy of Sciences of the Republic Moldova,  
5 Academy str., Chisinau, MD-2028, the Republic of Moldova

<sup>\*\*\*</sup> S.C. Cablero S.A., Iasi, Romania

#### 1. Introduction

Ultrasound of high energy produces two major effects in metals, which influence their mechanical and structural properties: an ultrasonic softening and ultrasonic hardening. The ultrasonic softening may be observed during the ultrasonic activation, and it appears due to reducing the external static strains needed for plastic deformation. The ultrasonic hardening may be considered as a residual effect after the ultrasonic activation [1, 2]. This effect occurs due to the growth of external static strains needed for plastic deformation of metals. Effects that appear at the ultrasonic activation in metals were studied previously.

B. Langenecker and other researchers consider the ultrasonic softening and ultrasonic hardening in metals as "volume effects" because they take place in the metal volume under the action of ultrasonic waves. In Langenecker's theory these processes occur due to ultrasound that produces in metals components of tangential strain large enough to move dislocations from their positions blocked by obstacles and forward them through the crystal.

It is considered that the ultrasonic action leads to hardening in soft crystals up to a certain saturation value after that the hardened crystals become now softer.

The success of the softening technology for treatment of metal products in hardened state depends on the ultrasound intensity or the amount of energy induced in the metal. The ultrasonic energy has to be high enough to produce modifications in the adjacent structure. Therefore, ultrasound of high energy should be used. While propagating through a metal, ultrasound leads to interaction with the crystal lattice and lattice defects. This supposes the different absorption of vibrational amplitude of ultrasonic waves.

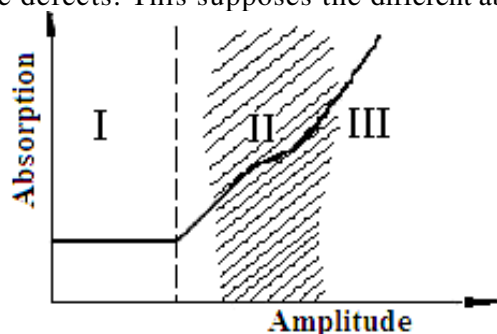


Fig. 1. Ultrasound absorption in metals

At very small amplitudes (Fig. 1, region I) there is no irreversible deformation in the medium, through which ultrasound propagates, but only some minor losses due to the absorption of ultrasonic waves occur.

This happens in the case of passive actions: determining different physical properties, flaw detection, etc. For small amplitudes (region II) a softening process takes place, then in the case of large amplitudes a hardening process occurs, when the linear dependence is observed of the absorption vs. the length of the region activated by ultrasound [3].

The purpose of the work is to assess the possibility to obtain the effect of ultrasonic softening in cold-rolled (hardened) metal strips through laboratory experiment. The hardened steel strips were subjected to the ultrasonic action in the rolling process. Four rolls were used in the rolling process simulation.

The obtained results have been estimated by the comparative study of test bars sampled from a steel strip hardened and worked with ultrasound using the tensile strength test according to STAS SR.EN 10002-1/1995.

#### 2. Investigation Method and Experimental Results

For testing cold-rolled strips were used hardened according to OL 60-STAS 500/2 (St6/GOST 380) – 88, with cross-sectional dimensions of 31.5 mm x 1.0 mm and the following values of mechanical

parameters: metal flow limit  $R_{p0.2} = 996$  MPa, tensile strength  $R_m = 1090$  MPa and elongation  $A_{80} = 1.80$  %. The rolling of metallic strip with ultrasonic activation was performed according the scheme (Fig. 2).

Vibrations of the working upper roll are produced that activate the segment-roll 2 using a PMS 15A-18 transducer, whose active part consists of the pack of nickel plates fed with high-frequency current from a UZ G2-4M ultrasound generator. We obtain the different values of vibrational amplitude (10, 15 and 20  $\mu\text{m}$ ) by the variation of magnetization current in the oscillatory system.

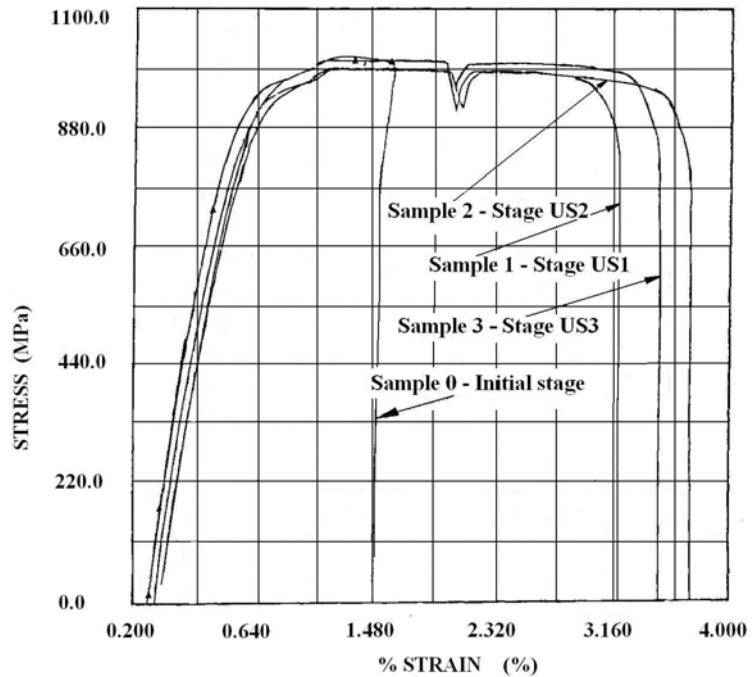
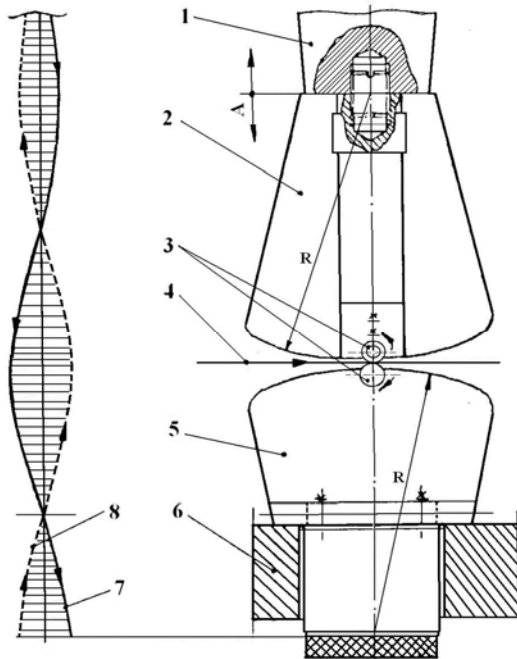


Fig. 2. Scheme of the metal strip rolling with ultrasonic activation. 1 – transducer PMS 15A-18; 2, 5 – segments of backing-up rolls; 3 – workings rolls; 4 – metal strip; 6 – fastening element; 7 – forward wave; 8 – backward wave  
Fig. 3. Stress - strain diagram

The dimensioning of the oscillatory system is characterized in the " $n\lambda/2$ " scale, when the resonant frequency is 18 000 Hz. The rolling rate of the metal strip ( $v_r$ ) is 5 m/min. For the given testing conditions, the strip cross section reduces by 10% at the activation of the upper roll transversely to the rolling direction.

The vibrational amplitude can be controlled using a special device, which includes "a microphone with electret" (with capacitor functions) as activating element [4].

Rolling with ultrasonic activation was performed for three different values of the vibrational amplitude of the upper working roll: US<sub>1</sub>,  $A = 10$   $\mu\text{m}$ ; US<sub>2</sub>,  $A = 15$   $\mu\text{m}$  and US<sub>3</sub>,  $A = 20$   $\mu\text{m}$ .

The assessment of obtained results is made through the comparative study of test bars sampled from the hardened and treated with ultrasound strips for three values of the vibrational amplitude using the tensile strength test according to STAS 1002-1/1995.

The tensile strength test was carried out in a special computer-aided MTS 810-24 installation, accuracy class 0.5, with the extension rate of the test bars 20 MPa/s. To determine the elongation  $A_{80}$  a digital MTS 810-24 extensometer was used, accuracy class B1. For the test bars sampled from cold-rolled strips, initial stage "0", it was found out that breaking is achieved at very small extensions that proves their hardened state.

In the ultrasonic activation process for three aforementioned working conditions US<sub>1</sub>, US<sub>2</sub> and US<sub>3</sub> the ultrasonic softening effect has been studied as a function of vibrational amplitude (Fig. 3). A great ultrasonic softening has been obtained for  $A = 5$   $\mu\text{m}$ ; the effect is less for  $A = 10$   $\mu\text{m}$ , but for  $A = 20$   $\mu\text{m}$  the extension is much smaller than for  $A = 15$   $\mu\text{m}$ , though the vibrational amplitude increases. This gives evidence that for the working condition US<sub>3</sub> the vibrational amplitude is too large for the speed of motion of the metal strip, which is 5 m/min. That is, besides the softening effects the ultrasonic hardening process also occurs.

It was found out that the rolling rate has to grow proportionally to the vibrational amplitude. That is why, in the authors' opinion, it is possible to perform the rolling with ultrasonic activation with much greater rates than the conventional processing. In this case, there is the dependence between the vibrational rate ( $v_v$ ) and the rolling rate of the metal strip ( $v_r$ ).

The ratio ( $v_r/v_v$ ) may be used as an optimization criterion for the given rolling process. The variation of mechanical characteristics  $\Delta R_{p0.2}$ ,  $\Delta R_m$  and  $\Delta A_{80}$  can be determined according the relationship (an example for  $\Delta R_m$  is given):  $\Delta R_m = [(R_{m0} - R_{mUS1,2,3})/R_{m0}] \cdot 100\%$ . Experimental results are summarized in Table 1.

Table 1

| No | Test bar symbol | Technological characteristics |                 | Mechanical characteristics |                          |                |                     |                 |                        | Obsv.                              |
|----|-----------------|-------------------------------|-----------------|----------------------------|--------------------------|----------------|---------------------|-----------------|------------------------|------------------------------------|
|    |                 | $V_r$<br>[m/min]              | A<br>[ $\mu$ m] | $R_{p0.2}$<br>[MPa]        | $\Delta R_{p0.2}$<br>[%] | $R_m$<br>[MPa] | $\Delta R_m$<br>[%] | $A_{80}$<br>[%] | $\Delta A_{80}$<br>[%] |                                    |
| 1. | 0               | 5                             | -               | 996                        | -                        | 1090           | -                   | 1.28            | -                      | Hardened stage                     |
| 2. | US <sub>1</sub> | 5                             | 10              | 910                        | 8.63                     | 990            | 9.17                | 2.20            | 41.81                  | Softening process                  |
| 2. | US <sub>2</sub> | 5                             | 15              | 899                        | 9.73                     | 987            | 9.44                | 3.20            | 60.0                   | Greater softening                  |
| 4. | US <sub>3</sub> | 5                             | 20              | 926                        | 7.02                     | 1006           | 7.70                | 2.40            | 46.6                   | Ultrasonic softening and hardening |

### 3. Conclusions

Laboratory experiments have shown the possibility to obtain the ultrasonic softening effect in previously hardened cold-rolled steel strips. The process passes under the influence of ultrasonic energy through the stages: hardening, softening and, possibly, a new hardening depending on the amount of the energy induced in the metal and on the vibrational amplitude of the deformation tool. The rolling of metal strips with ultrasonic activation is promising to increase the deformation degree and the rolling rate in comparison with the conventional rolling, that provides much greater productivity.

For the potential application of this method in a large scale it is necessary to continue experiments through the development of basic and applied research.

### REFERENCES

1. *Dragan Ov. et al.*, Ultrasound of high energy [in Romanian]. Editura Academiei, Bucuresti, 1983.
2. *Susan M. et al.*, Special plastic working [in Romanian]. Editura "Gh. Asachi", Iasi, 2000.
3. *Kralik G., Weiss B.*, Uber die Ultraschallverfestigung von Kubisch flachenzentrierten Metallen and Legirungen. Zeitschrift fur Metall-Kunde, 58, (7), 1967, pp. 471–475.
4. *Susan M.* Research Concerning Steel Ball Bearing Wire Drawing in an Ultrasonic Field [in Romanian]. PhD Thesis, Asachi Technical University, Iasi, 1996.

Received 01.06.06

### Summary

The possibility has been shown to obtain the effect of ultrasonic softening through laboratory experiments in hardened cold-rolled steel strips. The rolling of metal strips using ultrasonic activation is promising for increasing the deformation degree in comparison with the conventional rolling as well as for growth of the rolling rate, which supposes greater productivities.

A.A. Алиев

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ НА КОМПОЗИЦИИ ПОЛИОЛЕФИНОВ В ОБЛАСТИ МАЛЫХ ДОБАВОК ОДНОГО ИЗ КОМПОНЕНТОВ

*Институт радиационных проблем НАН Азербайджана,  
ул. Ф. Агаева, 9, Az 1143, г. Баку, Республика Азербайджан*

**Введение.** Одна из причин пробоя высоковольтной изоляции – развитие электрических разрядов в местах газовых включений внутри ее [1]. Второй важной причиной является возникновение и развитие в участках с резкой неоднородностью поля каналов частичного пробоя при длительном воздействии электрического поля, то есть дендритов или триинга, приводящих к постепенной потере массы (эрозии) материала, а также к локальному уменьшению его толщины и в конечном счете к полному пробояю.

Поэтому для повышения срока службы полимерной высоковольтной изоляции нужен материал, обладающий монолитной структурой (с минимальным количеством газовых включений и неоднородностей), а также стойкостью к действию электрических разрядов.

В последнее время все больший интерес исследователей привлекают полимерные смеси. Получаемые материалы обладают комплексом новых свойств, которых нет у исходных полимеров [2].

Много работ посвящено исследованию смесей полипропилен-полиэтилен (ПП-ПЭ) с целью повышения ударной прочности полипропилена (ПП), снижения его температуры, хрупкости и т.д., но практически отсутствуют сведения об изучении смеси ППП-ПЭ как полимерной изоляции.

Свойства полимерных смесей, компоненты которых не вступают в химическое взаимодействие друг с другом, существенно зависят от их структуры, которая в свою очередь определяется концентрационным соотношением между компонентами: с увеличением содержания одного компонента в матрице другого структура смеси последовательно проходит ряд стадий: раствор, область межфазного растворения, дисперсная микрогетерогенная структура, коагуляционная сетка, инверсионная структура [3, 4].

Можно предположить, что механизм разрушения полимерных смесей под действием внешних факторов также будет существенно зависеть от концентрационного соотношения между компонентами.

**Экспериментальная часть.** Цель работы – исследование электрического старения пленок смесей полипропилен–полиэтилен в области малых концентраций (до 5–10 вес. %) одного из компонентов. Смесей ППП с ПЭ готовили из неингибированных изотактических порошков ППП (средневесовой молекулярный вес  $\bar{M}_w = 2,86 \cdot 10^5$ , среднечисловой молекулярный вес  $\bar{M}_n = 6,23 \cdot 10^4$ ,  $\bar{M}_w/\bar{M}_n = 4,6$ , степень кристалличности  $\chi=64$ ) и ПЭ ( $\bar{M}_w = 4,15 \cdot 10^4$ ,  $\bar{M}_n = 2,71 \cdot 10^4$ ,  $\bar{M}_w/\bar{M}_n = 1,53$ ,  $\chi = 49$ ) на шаровой мельнице в течение 60 мин с последующим пропусканием через микроэкструдер с тремя регулируемые температурными зонами (140, 160, 190<sup>0</sup>С). Изотропные пленки получали прессованием экструдата в течение 30 минут при 200<sup>0</sup>С и давлении 200 атм на подложке из полиимидной пленки. Толщина пленок составляла 100–120 мкм. Пленки закаляли в воде при 30<sup>0</sup>С сразу после прессования.

Воздействие электрических разрядов осуществляли в несимметричной испытательной ячейке, состоящей из плоского металлического электрода, на который помещали испытуемый образец полимерной пленки, воздушного зазора величиной 1,5 мм и стеклянной пластины той же толщины: высокое электрическое напряжение  $U = 9$  кВ промышленной частоты прикладывали к металлизированному покрытию на внешней поверхности стеклянной пластины.

Образцы до и после воздействия электрических разрядов взвешивали на весах ВЛР-200 с точностью до 0,01 мг. Окисление прослеживали по полосе карбонильных ( $C = O$ ) групп при 1720 см<sup>-1</sup> с помощью УК-спектрофотометра. Электрическую прочность  $E_{пр}$  определяли на токе промышленной частоты как среднearифметическое значение из результатов 10 независимых измерений отношения  $U_{пр}/h$ , где  $U_{пр}$  – пробивное напряжение, повышаемое со скоростью 1 кВ/с,  $h$  – средняя толщина вокруг места пробоя. Тангенс угла диэлектрических потерь  $tg\delta$  и емкость пленок  $\epsilon$  измеряли с помощью моста Р-589.

**Результаты и их обсуждение.** В табл. 1 приведены результаты испытаний полимерных композиций ПЭ-ПП, из которой видно, что добавки ППП (в количестве 0–5%) в ПЭ вызывают незначительные изменения электрических характеристик последующих композиций.

Таблица 1. Характеристики полимерных композиций ПЭ-ПП

| Характеристика           | Образец |           |         |         |         |
|--------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|
|                          | ПЭ      | ПЭ+0,5%ПП | ПЭ+1%ПП | ПЭ+2%ПП | ПЭ+5%ПП |
| $E_{пр}$ , кВ/мм         | 118     | 116       | 120     | 118     | 116     |
| $tg\delta \cdot 10^{-4}$ | 7       | 6         | 5       | 4       | 5       |
| $\epsilon$               | 2,2     | 2,4       | 2,8     | 2,9     | 2,7     |
| $lg \rho_v$ ( Ом·м)      | 14,5    | 13,8      | 14,6    | 14,3    | 14,2    |

Полиэтилен и полипропилен являются несовместимыми полимерами. ПЭ кристаллизуется в более стабильную орторомбическую решетку, тогда как ППП – в моноклинную форму. Однако оба компонента оказывают обоюдное влияние на процесс кристаллизации и формирования низкомолекулярной структуры [5, 6].

Введение малых (1–2 вес.%) концентраций ППП в ПЭ повышает стойкость ПЭ к эрозии и окислению, вызванному действием электрических разрядов (рис. 1 и табл. 2).

Известно, что ППП является менее устойчивым к воздействию электрических разрядов, чем ПЭ,

что объясняется наличием третичных атомов углерода в его макромолекулах. Действительно, за 20 часов электрического старения в наших условиях у индивидуального ПП убыль массы составила около 20 мг, а у индивидуального ПЭ – лишь 8. Казалось, что введение ПЭ и ПП должно было повысить его стойкость к действию электрических разрядов и наоборот, однако в области малых добавок этого не наблюдается. Экстремальный характер потери массы и окисления в области 0,5–1 вес. % ПЭ в ПП и в 1–2% можно объяснить представлением о межфазном слое.

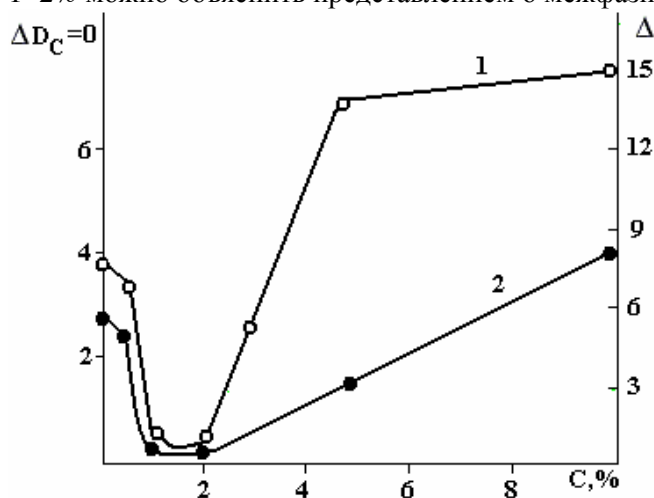


Рис. 1. Потеря массы  $\Delta m$  (1) и степень окисления (2) образцов ПЭ в зависимости от содержания ПП.  $U_{стар}=9$  кВ,  $t_{стар}=20$  час

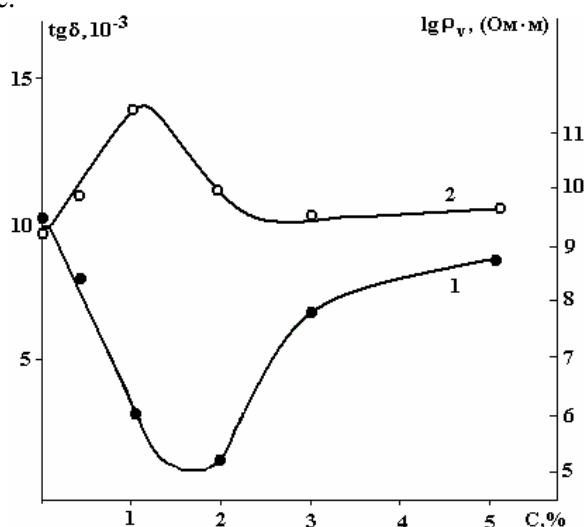


Рис. 2. Изменения тангенса диэлектрических потерь  $tg\delta$  (1) и удельного сопротивления  $lg\rho_v$  (2) образцов ПЭ в зависимости от содержания ПП

Таблица 2. Характеристики полимерных композиций после электрического старения

| Характеристика           | Образец |           |         |         |         |
|--------------------------|---------|-----------|---------|---------|---------|
|                          | ПЭ      | ПЭ+0,5%ПП | ПЭ+1%ПП | ПЭ+2%ПП | ПЭ+5%ПП |
| $E_{пр}$ , кВ/мм         | 43,0    | 38,0      | 60,0    | 64,0    | 32,0    |
| $tg\delta \cdot 10^{-4}$ | 95,0    | 80,0      | 26,0    | 32,0    | 78,0    |
| $\epsilon$               | 3,2     | 3,8       | 4,7     | 4,8     | 4,2     |
| $lg \rho_v$ (Ом·м)       | 9,3     | 9,5       | 11,6    | 10,6    | 9,4     |
| $\Delta m$ , мг          | 7,5     | 6,6       | 0,9     | 0,9     | 14,8    |
| $\Delta D_c=0$           | 3,8     | 3,6       | 0,03    | 0,02    | 1,5     |

Согласно [7, 8] экстремальный характер изменения свойств полимерных смесей в области очень малых добавок одного из компонентов (модификатора) объясняется расслоением полимерного раствора при определенном содержании модификатора, его выделением в дисперсную фазу и образованием межфазного слоя со специфическими свойствами. При этом модификатор может образовывать армирующий каркас или заполнять структурные дефекты полимерной матрицы, то есть обеспечивать ее более мелкую и однофазную структуру или же, наоборот, разрыхлять структуру матрицы и повышать ее дефектность.

Таким образом, при введении малых добавок ПП в ПЭ происходит уменьшение свободного объема, межфазный слой становится более плотным и стойкость к электрическому старению максимальна (табл. 2).

Об этом свидетельствует резкое увеличение удельного объемного сопротивления пленок полиэтилена при добавлении к ним 1–2% объемных (весовых) частей полипропилена, а также уменьшение тангенса угла диэлектрических потерь пленок ПЭ с добавками ПП (рис. 2, кривые 1 и 2).

В момент межфазного расслоения образуется большое количество частиц модификатора малых размеров и величина межфазного слоя максимальна. С дальнейшим увеличением содержания модификатора размеры частиц возрастают, а их концентрация снижается и межфазный слой уменьшается. Действительно, в нашем случае после концентраций ПП 1 вес.% в ПЭ наблюдаются резкое снижение окисления и потеря массы под действием частичных разрядов, а также возрастание электрической прочности (рис. 3) [9].

Проведенные эксперименты еще раз подтверждают высказанное ранее предположение о том, что для всех смесей полимеров в двух-, трех- и многокомпонентных системах, совместимых или несовместимых, существует доля модификатора (от 0–10 вес.%), при наличии которой в полимерных

системах будет происходить резкое, лавинообразное изменение структуры и электрофизических свойств как в сторону улучшения, так и ухудшения исходных параметров из состава системы [10, 11].

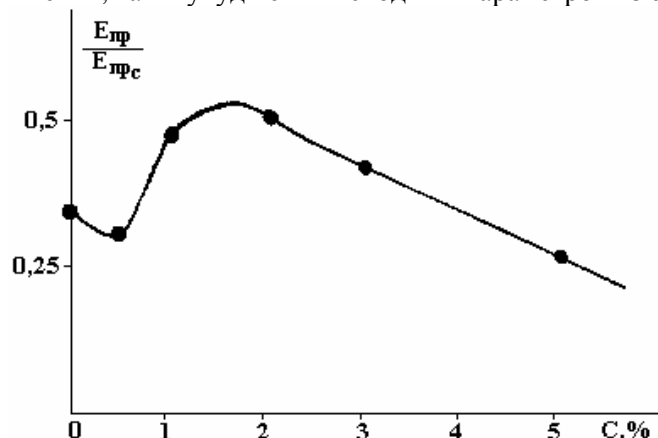


Рис. 3. Зависимость электрической прочности  $E_{np}$  образцов ПЭ с различным содержанием ПП.  $U_{стар} = 9$  кВ,  $t_{стар} = 10$  час

Следует отметить, что изучение полимерных смесей, а также многокомпонентных полимерных композитов имеет важное научное и практическое значение и позволяет получать новые полимерные материалы, обладающие ценными свойствами без создания дорогостоящих технологий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Багиров М. А., Малин В. П. Электрическое старение полимерных диэлектриков. Баку: Азернешр, 1987. 208 с.
2. Попов А.А., Гусак А.В., Гладилин М.П., Заиков Г.Е. Смесевые композиции полипропилена и полиэтилена высокой прочности. Свойства изотропных образцов // Высокомолекул. соед. 1986. А 28, № 5. С. 1083–1088.
3. Липатов Ю.С. Коллоидная химия полимеров. Киев: Наукова думка, 1984, 344 с.
4. Кулезнев В.И. Смеси полимеров. М.: Химия, 1980. 304 с.
5. Алиев А.А. Влияние состава смеси полеолефинов ПП-ПЭ на структуру и электрические свойства полимерных композиций // Bilqi. 2003. № 3. С. 9–14.
6. Керимов М.К., Алиев А.А. Полимерные смеси и композиты // Докл. НАН Азербайджана. 2003. Т. 59. № 3–4. С. 55–67.
7. Липатов Ю.С., Лебедев Е.В. Коллоидно-химические особенности полимер-полимерных систем // Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем // Республ. межвед. сб. Киев: Наукова думка, 1982. № 14. С. 3–13.
8. Кулезнев В. Н., Клыкова В. Д. и др. Поведение бинарных смесей полимеров в области фазового разделения // Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. Республ. межвед. сб. Киев: Наукова думка, 1982. № 4. С. 14–20.
9. Алиев А.А., Багиров М.А., Малин В.П., Попов А.А., Гусейнова Н.Д. Электроизоляционная композиция. Авторское свидетельство № 1515203, А1, от 15.10.1989.
10. Алиев А.А. Межфазные явления в смесях полимеров // Bilgi. 2004. № 3. С. 9–21.
11. Алиев А.А. Электреты на основе полимеров, смесей полимеров и композитов // Bilgi. 2005. № 2. С. 15–29.

Поступила 21.06.06

#### Summary

The influence of 0-10% concentration of PP contained in PE on electric deterioration stability is investigated. It is shown, that introduction of small concentration of PP into PE (1–2 weights %) increases stability versus erosion and oxidation caused by electric charge action and leads to electric durability of PE. There is a hypothesis advanced, that for all mixtures of polymers in two – and three component systems, compatible and uncompatible, there is some fraction of modifier (for one of polymers up to 10%), at which, sharp, avalanche – like changing of structure and electrophysical properties will take place. These changes can be directed both improvement, and to deterioration of properties of initial parameters of polymers of composition.