

**Купчишин А.И. *, Ниязов М.Н., Таипова Б.Г.,
Ходарина Н.Н., Шаханов К.Ш.**

Казахский национальный педагогический университет им. Абая,
г. Алматы, Казахстан, *e-mail: ankupchishin@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРОННОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ДЕФОРМАЦИЮ ОРГСТЕКЛА И ТЕКСТОЛИТА ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ИЗГИБ

Проведены эксперименты по зависимости деформации (ε) от напряжения (σ) при испытании на изгиб необлученных и облученных (электронами) образцов рифлёного оргстекла и текстолита. Установлено, что облучение приводит к заметному изменению деформационно-прочностных характеристик материала, проявляющиеся в уменьшении пластичности. Относительный прогиб полосатого оргстекла после облучения изменяется на 20%, а пирамидного – на 40 %. При этом изменение прочности не происходит. Визуальный анализ показывает, что светопропускаемость (прозрачность) уменьшается, образцы окрашиваются в коричневый цвет. Учет горизонтальной составляющей несущественно влияет на величину относительного удлинения. Были получены зависимости деформации от напряжения для образцов текстолита, при котором происходит изгиб. Вычислены максимальная нагрузка (предел прочности) и максимальная стрела прогиба, предшествующие моменту разрушения. Для образцов текстолита коричневого текстолита предел прочности равен 67 МПа, а для желтого – 102 МПа, а $\varepsilon_{\max} = 100$ и 95 %. Полученные кривые удовлетворительно описываются в рамках линейной (для образцов полосатого и рифленного оргстекла) и экспоненциальной моделей (для текстолита). С увеличением σ ε растет по линейному и экспоненциальному закону.

Ключевые слова: напряжение, деформация, полимер, изгиб, сила, энергия, облучение, доза

Kupchishin A.I. *, Niyazov M.N., Taipova B.G., Khodarina N.N., Shakhanov K.Sh.

Abay Kazakh National Pedagogical University,
Almaty, Kazakhstan, *e-mail: ankupchishin@mail.ru

A study of the influence of high-energy electron irradiation on the deformation of the plexiglas during the bending test

Experiments was carried out on the dependence of deformation (ε) voltage (σ) when the bending test of non-irradiated and irradiated (electrons) of the samples patterned plexiglass and the PCB. It is established that irradiation leads to a noticeable change in the deformation and strength characteristics of the material, manifested in a decrease in plasticity. Relative deflection striped acrylic plastic after irradiation is changed to 20%, and the pyramid – 40%. In this case, the strength change does not occur. Visual analysis shows that the light transmittance (transparency) is reduced, the samples are colored in brown. Accounting for the horizontal component does not significantly affect the value of the relative elongation. Were obtained based on stress-strain for samples of the PCB, wherein the bending occurs. The maximum load (tensile strength) and the maximum deflection boom preceding the moment of failure are calculated. For samples of brown textolite, the strength limit is 67 MPa, and for yellow – 102 MPa, and $\varepsilon_{\max} = 100$ and 95 %. The obtained curves are satisfactorily described in the framework of linear (for samples of striped and corrugated Plexiglas) and exponential models (for textolite). With the increase σ ε grows linear and eksponentsialnogo.

Key words: stress, deformation, polymer, bending, force, energy, radiation, dose.

Купчишин А.И.* , Ниязов М.Н., Таипова Б.Г., Ходарина Н.Н., Шаханов К.Ш.

Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,
Алматы қ., Қазақстан, *e-mail: ankupchishin@mail.ru

Иілу сынағының кезінде жоғары энергиялық электронды сәулеленудің органикалық шыны және текстолит деформациясына әсерін зерттеу

Сынақта кернеудің (σ) сәулеленбеген және сәулеленген гофрленген плексиглос және текстолите деформация бойынша (ϵ) жүргізілген. Сәулелеу материалдың деформациялық беріктігі сипаттамаларының едәуір өзгеруіне әкеледі, бұл пластиканың төмендеуінде көрінеді. Визуалды талдау жарық өткізгіштігінің (ашықтықтың) азаюы, үлгілердің қоңыр түске боялған көрсетеді. Көлденең компонентті есепке алу салыстырмалы артта қалудың шамасына айтарлықтай әсер етпейді. Текстолит үлгісі үшін иілу өтетін, деформацияның кернеуге тәуелділігі алынды. Максималды жүктеме (беріктік шегі) және жойылу сәтіне дейінгі максималды бұру көрсеткіші есептелді. Сынақ үлгілері үшін соңғы күші 67 МПа, ал сары 102 МПа және $\epsilon_{\max} = 100$ және 95 %. Алынған қисықтар желілік (сызықты және гофрленген плексигл үлгілері үшін) және экспоненталық модельдер (текстолит үшін) шеңберінде сипатталады. Кернеудің өсумен σ ϵ сызықты және экспоненталық өседі.

Түйін сөздер: кернеу, деформация, полимер, иілу, күш, энергия, сәулелену дозасы.

Введение

Как известно, различные материалы имеют отличные друг от друга механические и технологические свойства, которые определяют качество деталей, сделанных из них, а также их обрабатываемость. Эти свойства выявляют соответствующими испытаниями на растяжение, сжатие, изгиб, твердость и т.д. Испытание на изгиб проводят, в частности, для проверки стыковых соединений [1–3]. Определяет пластичность соединений и самого образца, способность материала воспринимать заданный изгиб. Он может быть статическим и ударным (динамическим) [4–8]. Плоским прямым изгибом называется такой вид испытания, когда все внешние силы, приложенные к материалу действуют в одной из плоскостей симметрии [9–13]. При этом изогнутая ось образца располагается в той же плоскости, что и внешние силы. На изгиб испытываются как пластичные, так и хрупкие материалы. Характер деформации хрупких образцов резко отличается от пластичных. Если испытанию на изгиб подвергается пластичный материал, то из-за больших деформаций его не удается разрушить и определить предел прочности. Другие механические характеристики, как, например, предел пропорциональности, предел текучести, легко определяются из опыта [6–9]. Испытание приобретает особо-важное значение при проверке прочности и жесткости хрупких материалов, так как разрушение их при работе чаще всего происходит от остаточных деформаций [14, 15]. При этом находят максимальную нагрузку и максимальную стрелу прогиба, предшествующие моменту разрушения. При максималь-

ной нагрузке вычисляют предел прочности. Испытание на изгиб можно проводить двумя способами: одной сосредоточенной силой, приложенной посередине образца между опорами и двумя силами, приложенными симметрично относительно опор [16, 17]. Результаты испытания в значительной мере зависят от типа материала, условий нагрузки, формы и размеров образцов. Особый интерес при модификации свойств и структуры полимерных и композитных материалов представляет их облучение разными частицами, в том числе электронами. При этом в материале образуются различные дефекты (вакансии, междоузельные атомы, кластеры, разорванные связи, новые соединения и т.д.) [18–20].

Данная работа посвящена исследованию влияния напряжения и электронного облучения на деформацию рифленого оргстекла и текстолита при плоском прямом изгибе с одной сосредоточенной силой.

Методика эксперимента

Для исследования зависимости деформации ϵ от напряжения σ нами была разработана и изготовлена соответствующая экспериментальная установка. Она состоит из следующих частей: датчик силы, индикатор часового типа, устройство для крепления образца, соединительные провода и интерфейс, на который выводятся данные о силе. Все это устанавливается на нижней части разрывной машины РУ-50, которая служит основой для экспериментов. На установке также размещено устройство с нагружающим наконечником и опорами.

В качестве исследуемого материала было взято рифленое оргстекло двух видов (пирамиды и полосы). Толщина (h) образцов оргстекла была равна 3 мм в выпуклой части рифления, ширина (b) – 5 мм и длина L – 40 мм. Для проведения исследований на изгиб также был взят текстолит коричневого и желтого цветов, толщина которых 2 и 2,5 мм соответственно, ширина 10 мм и с рабочей длиной $L=220$ мм. Испытание проводилось при температуре 23 °С и относительной влажности 50 %. Наименьшая толщина в вогнутой части рифления для пирамидного материала составляла 1, а для полосатого 2 мм.

Облучение образцов оргстекла электронами велось на линейном ускорителе ЭЛУ-6 с энергией 2 МэВ в воздушной среде. Доза облучения составляла 100 кГр. Эксперименты были выполнены на испытательной машине, обеспечивающей равномерную скорость передвижения – 10 мм/мин. Относительное перемещение нагружающего наконечника и опор, позволяло производить измерение нагрузки с погрешностью ± 1 %, а прогиба – ± 2 %.

Результаты и их обсуждение

В результате проведенных экспериментальных исследований получены зависимости деформации от напряжения для необлученных и облученных образцов рифленых оргстекло, при которых происходит плоский изгиб с учетом и без учета горизонтальной составляющей (рисунки 1а и б). Фигурами показаны результаты эксперимента, а линиями – данные расчетов. Рассмотрение физико-механических свойств проводилось в координатах ε , σ . Зависимость σ от ε не имеет физического смысла, поскольку σ является аргументом, а ε – функцией, что показано в [14].

Расчет зависимости ε от σ по экспериментальным данным производился следующим образом. Напряжение, при котором происходит изгиб вычислялось по формуле [20]:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \quad (1)$$

где M – изгибающий момент; W – момент сопротивления сечения образца. При этом изгибающий момент (M) находился из выражения:

$$M = \frac{FL}{4}, \quad (2)$$

где F – нагрузка; L – расстояние между опорами. Момент сопротивления сечения образца (W) определяется из соотношения:

$$W = \frac{bh^2}{6}, \quad (3)$$

Из (1) – (3) следует, что [14]:

$$\sigma = \frac{3FL}{2bh^2}, \quad (4)$$

Изгибающее напряжение (σ_f) с учетом горизонтальной составляющей изгибающего момента при изгибе z , может быть вычислено по формуле:

$$\sigma_f = \frac{3FL}{2bh^2} \left(1 + \frac{4z^2}{L^2} \right), \quad (5)$$

где z – прогиб образца в середине между опорами.

Относительный прогиб вычислялся как отношение величины прогиба к рабочей длине образца ($\varepsilon = z/L$).

Из (5) можно получить:

$$\varepsilon_f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2\sigma_f bh^2}{3FL} - 1}. \quad (6)$$

Как следует из результатов, при увеличении напряжения, относительное удлинение рифленых образцов оргстекла (как необлученного, так и облученного) растет по линейному закону. При этом, полосато-рифленый материал имеет большую прочность и относительное удлинение чем пирамидно-рифленый. После облучения дозой 100 кГр образцы оргстекла теряют пластичность на 20 и 40 % соответственно по сравнению с необлученными материалами. Изменений прочности материалов после облучения не происходит. Визуальный анализ показывает, что светопропускаемость (прозрачность) уменьшается, образцы окрашиваются в коричневый цвет. Учет горизонтальной составляющей несущественно влияет на величину относительного удлинения. С хорошей точностью экспериментальные данные описывается линейной моделью:

$$\varepsilon = a\sigma, \quad (7)$$

где α – тангенс угла наклона. Для необлученного полосато-рифленого стекла $\alpha = 0,14$, а пи-

рамидно-рифленого 0,2. Для облученных материалов $\alpha = 0,1$ и 0,13 соответственно.

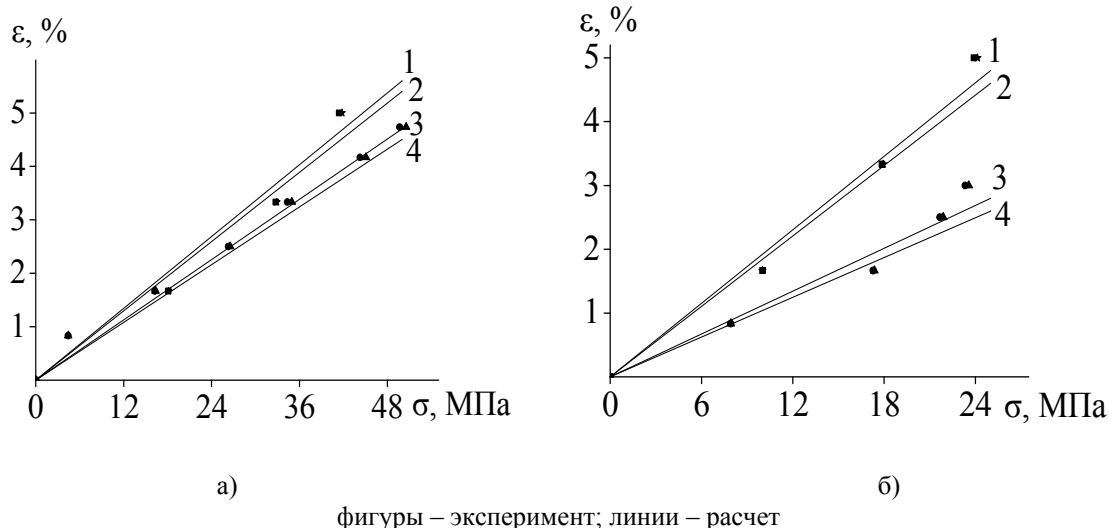


Рисунок 1 – Зависимость деформации от напряжения для необлученных (1, 2) и облученных электронами (3, 4) образцов полосато-рифленого (а) и пирамидно-рифленого (б) оргстекла, при плоском изгибе с учетом (квадраты и звездочки) и без учета горизонтальной составляющей соответственно (точки и треугольники)

Были получены зависимости деформации от напряжения для образцов текстолита, при котором происходит изгиб. Вычислены максимальная нагрузка (предел прочности) и максимальная стрела прогиба, предшествующие моменту разрушения. Для образцов текстолита $\sigma_{\max} = 67$ для коричневого и 102 МПа для желтого текстолита, а $\varepsilon_{\max} = 100$ и 95 %. Результаты зависимости деформации от напряжения, показаны на рисунке 2. Из рисунка следует, что экспериментальные данные (фигуры) удовлетворительно описываются в рамках предложенной авторами экспоненциальной модели:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 [\sigma / \sigma_0 - 1],$$

ε_0 – это значение относительного прогиба, σ_0 – напряжение, при котором параметр $|\varepsilon/\varepsilon_0 - 1|$ уменьшается в e раз.

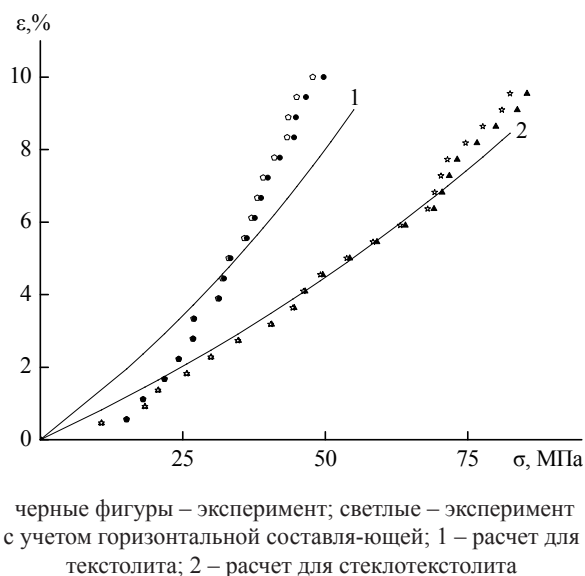


Рисунок 2 – Зависимость деформации от напряжения для образцов текстолита, при котором происходил изгиб

Выводы

Проведены эксперименты по зависимости деформации от напряжения при испытании на плоский прямой изгиб образцов необлученного и облученного рифленого оргстекла. Установлено, что облучение приводит к заметному изменению деформационно-прочностных характеристик материала, проявляющиеся в уменьшении пластичности. Относительное удлинение плоского оргстекла после облучения изменяется на

20%, а пирамидного – на 40 %. При этом изменение прочности не происходит.

2. Полученные кривые зависимости ϵ от σ удовлетворительно описываются в рамках линейной модели.

3. Проведены эксперименты по зависимости деформации от напряжения при испытании на плоский прямой изгиб образцов текстолита. Полученные экспериментальные кривые удовлетворительно описываются экспоненциальной моделью.

Литература

- 1 Briskman B.A., Tlebaev K.B. Radiation Effects on Thermal Properties of Polymers. II. Polytetrafluoroethylene // *High Performance Polymers*. – 2008. – Vol.20, No.1. – P.86–114.
- 2 Ikeda S., Tabata Y., Tabata Y., Suzuki H., Miyoshi T., Katsumura Y. Formation of cross-linked PTFE by radiation-induced solid-state polymerization of tetrafluoroethylene at low temperatures // *Rad. Phys. Chem.* – 2008. – Vol. 77. – P. 401–408.
- 3 Oshima A., Ikeda S., Katoh E., Tabata Y. Chemical structure and physical properties of radiation-induced crosslinking of polytetrafluoroethylene // *Rad. Phys.Chem.* – 2001. – Vol. 62, No1. – P. 39–45.
- 4 Katoh E., Sugisawa H., Oshima A., Tabata Y., Seguchi T., Yamazaki T. Evidence for radiation induced crosslinking in polytetrafluoroethylene by means of high-resolution solid-state ^{19}F high-speed MAS NMR // *Rad. Phys. Chem.* – 1999. – Vol. 54, No 2. – P. 165–171.
- 5 Lappan U., Geißler U., Lunkwitz K.I. Changes in the chemical structure of polytetrafluoroethylene induced by electron beam irradiation in the molten state // *Rad. Phys. Chem.* – 2000. – Vol. 59, No 3. – P. 317–322.
- 6 Rama K., Layek, Arun K. Nandi A review on synthesis and properties of polymer functionalized graphene. // *Polymer*. – 2013. – Vol.54(19). – P. 5087–5103.
- 7 Lappan U., Fuchs B., Geißler U., Scheler U., Lunkwitz K. Number-average molecular weight of radiation-degraded poly(tetrafluoroethylene). An end group analysis based on solid-state NMR and IR spectroscopy // *Polymer*. – 2002. – Vol. 43, No 13. – P. 4325–4330.
- 8 Lappan U., Fuchs B., Geißler U., Scheler U., Lunkwitz K. Identification of new chemical structures in poly(tetrafluoroethylene-co-perfluoropropyl vinyl ether) irradiated in vacuum at different temperatures // *Rad. Phys. Chem.* – 2003. – Vol. 67, No 4. – P. 447–451.
- 9 Lunkwitz K., Lappan U., Fuchs B., Scheler U. Modification of perfluorinated polymers by high-energy irradiation // *J. Fluor. Chem.* – 2004. – Vol.125, No.5. – P. 863–873.
- 10 Komarov F.F., Kupchishin A.I., Pivovarov S.P., Tlebaev K.B., Kusainov A.T., Rukhin A.B. Pozdeeva T.V. Influence of γ -irradiation on the conformation of free radicals in polytetrafluoroethylene // *J. of engineering physics and Thermophysics*. – 2012. – Vol. 85, No.2. – P. 455–458.
- 11 Kupchishin A.I., Niyazov M.N., Voronova N.A., Kirdiashkin V.I., Abdukhairova A.T. The effect of temperature, static load and electron beam irradiation on the deformation of linear polymers // *Materials Science and Engineering* 168012017. – P.1–4.
- 12 Kupchishin A.I., Taipova B.G., Voronova N.A. Study of the influence of filler on the Structure Treatment systems biomaterials // *Materials Science and Engineering*: 168012015. – P.1–4.
- 13 Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Kozhamkulov B.A. Study on the physical and mechanical properties of composites based on polyimide and polycarbonate. *Mechanics of composite materials*. – 2015. – Vol. 51, №1. – P. 115–118.
- 14 Kupchishin A.I., Taipova B.G., Kupchishin A.A., Voronova N.A., Kiryashkin V.I., Fursa T.V. Catastrophic models of materials destruction // *Material Science and Engineering*. 110 012037. – 2016. – P. 1–5.
- 15 Rajeshbabu R. Gohs U, Naskar K et al. Preparation of Polypropylene (PP)/Ethylene Octene Copolymer (EOC) Thermoplastic Vulcanizates (Tpvs) by High Energy Electron Reactive Processing // *Radiation Ph. and Ch.y.* – 2011. – No. 80. – P. 1398–1405.
- 16 Voronova N.A., Kupchishin A.I., Taipova B.G. Nanoclusters and Electron Irradiation Effect on Mechanical Properties of Polyimide-Based Composite // *Key Engineering Materials*. – 2018. – Vol. 769. – P. 72–77.
- 17 Voronova N.A., Kupchishin A.I., Niyazov M.N., Lisitsyn V.M. Uniaxial Stress and Electron Irradiation Effects on Nanochains Straightening in Film Polymer Materials // *Key Engineering Materials*. – 2018. – Vol. 769. – P. 78–83.
- 18 Voronova N.A., Kupchishin A.I., Kupchishin A.A., Kuatbayeva A.A., Shmygaleva T.A. Computer Modeling of Depth Distribution of Vacancy Nanoclusters in Ion-Irradiated Materials // *Key Engineering Materials*. – 2018. – Vol. 769. – P.358–363.
- 19 Ivchenko V.A., Atomic structure of cascades of atomic displacements in metals and alloys after different types of radiation // *Materials Science and Engineering* 110 012003. – 2016. – P.1–5.

References

- 1 B.A. Briskman and K.B. Tlebaev, *High Performance Polymers*, 20, 1, 86-114 (2008).
- 2 S. Ikeda, Y. Tabata, Y. Tabata, H. Suzuki, T. Miyoshi and Y. Katsumura, *Rad. Phys. Chem.*, 77, 401-408 (2008).
- 3 A. Oshima, S. Ikeda, E. Katoh, and Tabata Y., *Rad. Phys. Chem.* 62, 1, 39-45 (2001).
- 4 E. Katoh, H. Sugisawa, A. Oshima, Y. Tabata, T. Seguchi, and Yamazaki T., *Rad. Phys. Chem.*, 54, 2, 165-171 (1999).
- 5 U. Lappan, U. Geißler, and Lunkwitz K.I., *Rad. Phys. Chem.*, 59, 3, 317-322 (2000).
- 6 Rama K., Layek and Arun K. Nandi, *Polymer*, 54(19), 5087-5103 (2013).
- 7 U. Lappan, B. Fuchs, U. Geißler, U. Scheler, and K. Lunkwitz, *Polymer*. 43, 13, 4325-4330 (2002).
- 8 U. Lappan, B. Fuchs, U. Geißler, U. Scheler and K. Lunkwitz, *Rad. Phys. Chem.*, 67, 4, 447-451 (2003).
- 9 K. Lunkwitz, U. Lappan, B. Fuchs and U. Scheler, *J. Fluor. Chem.*, 125, 5, 863-873 (2004).
- 10 F.F. Komarov, A.I. Kupchishin, S.P. Pivovarov, K.B. Tlebaev, A.T. Kusainov, A.B. Rukhin T.V. and Pozdeeva, *J. of Engineering Physics and Thermophysics*, 85, 2, 455-458 (2012).
- 11 A.I. Kupchishin, M.N. Niyazov, N.A. Voronova, V.I. Kirdiyashkin and A.T. Abdukhair-va, *Materials Science and Engineering* 168 012017, 1-4 (2017) doi: 10.1088/1757-899X/168/1/012017.
- 12 A.I. Kupchishin, B.G. Taipova and N.A. Voronova, *Materials Science and Engineering*: 168 012015, 1-4 (2016) doi: 10.1088/1757-899X/168/1/012015.
- 13 A.I. Kupchishin, B.G. Taipova, A.A. Kupchishin and B.A. Kozhamkulov, *Mechanics of composite materials*, 51, 1, 115-118 (2015).
- 14 A.I. Kupchishin, B.G. Taipova, A.A. Kupchishin, N.A. Voronova, V.I. Kirdiyashkin and T.V. Fursa, *Material Science and Engineering* 110 012037, 1-5 (2016) doi: 10.1088/1757-899X/110/1/012037.
- 15 R. Rajeshbabu Gohs U., K Naskar et al., *Radiation Ph. and Ch.*, 80, 1398-1405 (2011).
- 16 N.A. Voronova, A.I. Kupchishin and B.G. Taipova, *Key Engineering Materials*, 769, 72-77 (2018) doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.769.72.
- 17 N.A. Voronova, A.I. Kupchishin, M.N. Niyazov and V.M. Lisitsyn, *Key Engineering Materials*, 769, 78-83 (2018) doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.769.78.
- 18 N.A. Voronova, A.I. Kupchishin, A.A. Kuatbayeva and T.A. Shmygaleva, *Key Engineering Materials*, 769, 358-363 (2018) doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.769.358.
- 19 V.A. Ivchenko, *Materials Science and Engineering* 110 012003, 1-5 (2016) doi: 10.1088/1757-899X/110/1/012003.