

**STUDY OF STRESSES IN MATERIALS WITH REGULAR
MICROSTRUCTURE FOR THEIR APPLICATION IN THE DESIGN OF
POLYGRAPHIC CUTTING MACHINES**

L.V. Yeritsyan

National Polytechnic University of Armenia

Modern polygraphic equipment is required to be designed with minimum weight and dimensional parameters. The optimal modes of their operations are also very important. These requirements can be met by using cellular materials with regular microstructure, which are manufactured using special technologies. To design the links of the mechanisms of polygraphic equipment from new materials, first it is necessary to study the strength properties of cellular materials. This exploration will show how the stress will be distributed in the microstructure of the material. It is also important to find the points in the unit cell of the microstructure, where stresses will get their maximum values. This paper presents the influence of the geometrical parameters of a unit cell on the stress distribution inside the material of a regular microstructure. Studies have been carried out by modeling the stress state of a unit cell using the numerical method. A numerical method is proposed for the estimation of the stress concentration factors (SCF) on the cell wall junctions of the cellular structure. The SCF was defined by multiplying the nominal stress components applied to the sides of the unit cell to the stress components at the filleted cell wall junction.

The use of materials with a cellular regular microstructure in the design of polygraphic equipment will save material resources. In addition, this will open up new opportunities to fill the cells of the microstructure with piezoactive materials, which are a source of high-frequency vibrations that improve the performance of machines.

Keywords: cellular material, regular microstructure, stress concentration factor, polygraphic equipment, high-frequency vibration.

Introduction. In the present stage of science, with the development of Additive Manufacturing techniques, the study of the mechanical behavior of this material has become more actual. 3D printing processes permit to obtain products with high dimensional accuracy, so it is possible to accurately control the geometry of each single cell. The cell shape plays a very important role in the mechanical behavior of the material [1,2]. The geometrical parameters that characterize each cell are the strut length L , the strut thickness t and the fillet radius R (at the joints of the cell walls). The objective of this research is to determine the influence of radius R , thickness t and the type of the applied load on the Stress Concentration Factors (SCF), which is the ratio between the maximum equivalent stress and the equivalent stress calculated by using the nominal stress components, acting on the unit cell. The fillet radius R and the cell

wall thickness t were normalized to the cell wall length L . The SCF was calculated in large domains of the geometric parameters: wall thickness to the edge length ratio in the interval $[0.01, 0.2]$ and fillet radius to the edge length ratio in the interval $[0.01, 0.15]$. All these studies allowed us to assume that the cells can be filled with piezo active material, so that we get high frequency vibrations [3]. Specifically, application of high frequency vibration ensures the improvement of the three knife polygraphic cutting machine technical parameters. It improves the cutting accuracy, as well as reduces the energy consumption [4].

Modeling. The 2D cellular structure with staggered square cells is discussed. The aim is to obtain a model, which will allow to calculate the values of the SCF as a function of the unit cell geometrical parameters, namely the cell-wall thickness t and the fillet radius R at the cell junctions and the type of the load applied. This was achieved by applying the Finite Elements (FE) method to the unit cell for wide intervals of t and R to calculate the SCF for each couple of parameters. As there is a certain symmetry and periodicity in the structures, it is possible to identify the unit cell, which is the building block that builds up the whole structure. Thus, it is only necessary to model the unit cell in order to obtain the properties of the whole structure. The staggered square structure and the unit cell are shown in Fig.1.

The main goal of this paper is to find the relationship between the SCF and the unit cell geometric parameters t and R . Here the Stress Concentration Factors is defined as the ratio between the maximum equivalent stress that exists at the joint and the equivalent nominal stress applied to the unit cell (1):

$$K_{eq} = \frac{\sigma}{\sigma_n}. \quad (1)$$

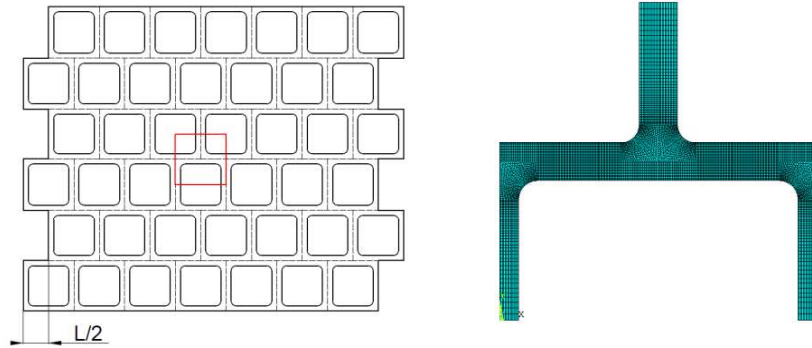


Fig. 1. The staggered square structure and the unit cell

The relationship between the components of the nominal stress tensor and the components of the maximum stress tensor is expressed by Eq. (2):

$$\begin{Bmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & K_{1,12} \\ K_{2,1} & K_{2,2} & K_{2,12} \\ K_{12,1} & K_{12,2} & K_{12,12} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{1,n} \\ \sigma_{2,n} \\ \tau_{12,n} \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Each element of the matrix of the coefficients K_{ij} represents the SCF due to the junction that multiplies the nominal stress σ_{jn} and contributes to the maximum stress σ_i . Each element of the matrix of the coefficients represents the SCF due to the junction that multiplies the nominal stress and contributes to the maximum stress [5].

The elements of the SCF matrix can be calculated by applying the appropriate boundary conditions. The model of the unit cell was built in ANSYS. The periodicity of the structure was enforced with constraint equations that couple the displacement of the sides of the unit cell. The components of the stress concentration factor's matrix can be calculated by applying monoaxial nominal loads on the unit cell. The X component of K is calculated by applying a monoaxial load in direction X on the unit cell (Fig. 2).

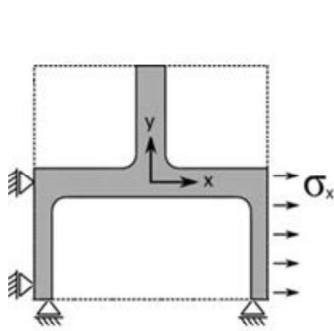


Fig.2. Monoaxial load in direction X

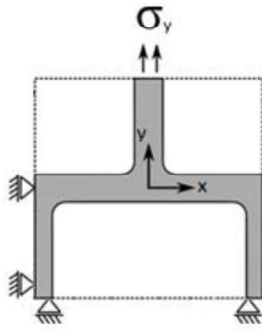


Fig.3. Monoaxial load in direction Y

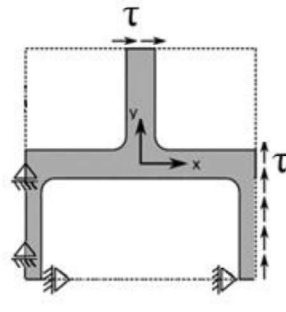


Fig.4. The unit cell is loaded under pure shear

The Y component of K is calculated by applying a monoaxial load in direction Y on the unit cell (Fig. 3). The third component of K is calculated by applying pure shear τ (Fig. 4).

The non-triviality is related to the fact that what is needed is the maximum K_{eq} and the point on the fillet where it is reached, both depend on the combination of the nominal stresses.

To calculate the stress concentration factor A, B, C, D fillets were considered (Fig.5).

As the structure is periodic, stress is also distributed with some periodicity. The comparison of behavior of stress components in A, B, C, D fillets showed that the results in fillet A are the same as in C, and the results in fillet B are the same as in D. Thus for further studies only 2 fillets can be considered. In some cases, mostly when the load along direction X prevails, the point where the highest stress occurs is out of

the fillets, on the horizontal line (as shown in Fig.6). Stresses on the horizontal line are also distributed equally in the 1,2,3,4 areas. So for further analysis, fillets A, B and area 1 in the horizontal line were considered.

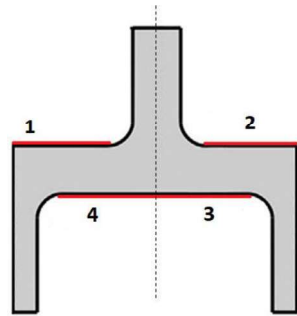


Fig. 5. Unit cell of the structure

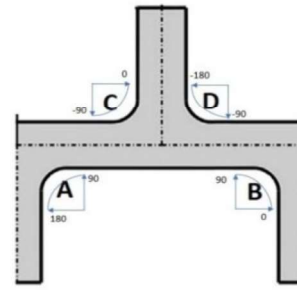


Fig. 6. Stressed areas

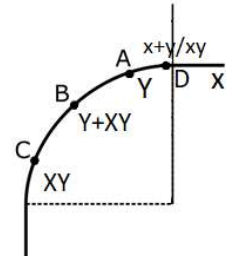


Fig. 7. Fillet radius

Results. A numerical method was used to get the values of the local stress components on the cell wall junctions and horizontal line of cellular structure. Data are obtained that show the relationship between the position of the node where maximum SCF occurs, and the ratio between the nominal stresses.

Referring to Fig. 7, the maximum equivalent stress occurs in a point close to A in the case of a prevalently monoaxial load along direction Y, close to location C in the case of a prevalently pure shear. In most cases, when the load along direction X prevails, the point maximum stress occurs out of the fillets. Stress concentration factors as a function of the geometrical parameters of the structure t/L and R/L are shown in Fig. 8. and Fig. 9.

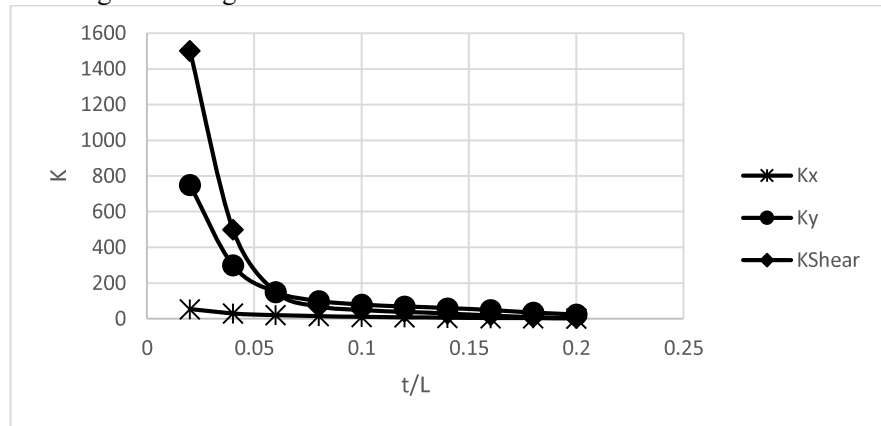


Fig. 8. Stress concentration factors as a function of the geometrical parameters of the structure t/L

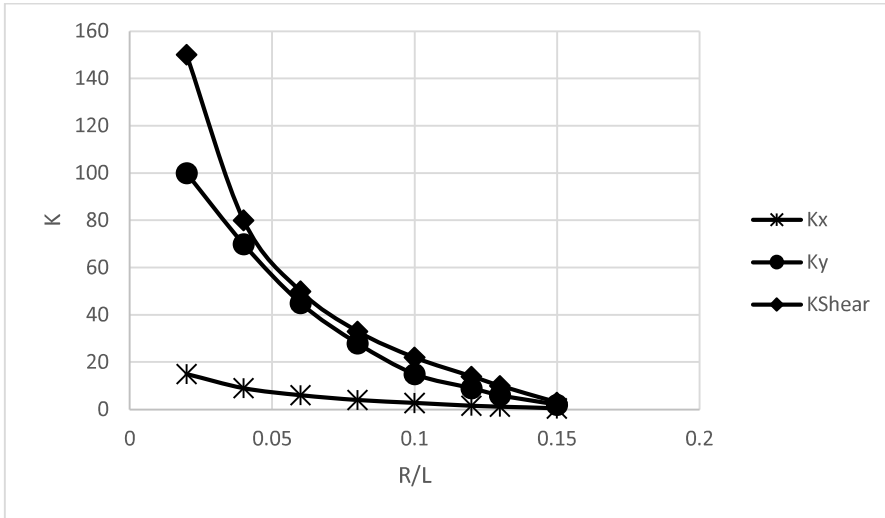


Fig. 9. Stress concentration factors as a function of the geometrical parameters of the structure R/L

Conclusion. The SCFs were calculated via the FE method for each couple of the cell-wall diameter t and the fillet radius R at the joints varied in a wide interval of their value. An equivalent SCF K_{eq} based on the von Mises equivalent stress criterion could be then obtained. This K_{eq} is basically a factor that gives the maximum equivalent stress on the cell wall junctions by multiplying the von Mises stress calculated from the nominal stresses on the unit cell. The SCF was calculated in large domains of the geometric parameters: wall thickness to the edge length ratio in the interval $[0.01, 0.2]$ and the fillet radius to the edge length ratio in the interval $[0.01, 0.15]$. The model allowed to efficiently calculate the optimum geometrical parameters of the structure. The results plotted in Fig. 8. and Fig. 9. show that the cell wall thickness has a greater effect on SCF than the fillet radius. Looking at the graphs we can conclude that in order to avoid high values of SCF, it is recommended to choose the cell wall thickness to the edge length ratio interval $[0.01, 0.2]$, and the fillet radius to the edge length ratio in the interval $[0.12, 0.15]$. All these studies allow us to assume that it is possible to use cellular materials to design polygraphic machines with improved technical parameters.

References

1. **Ashby M.F.** The properties of foams and lattices // Phil. Trans. R. Soc. A.-2006.-364.-P.15-30.
2. **Fleck N.A., Deshpande V.S., Ashby M.F.** Micro-architected materials: past, present and future //Proc. R. Soc. A.-2010.- 466.-P. 2495-2516.
3. Вибрационные преобразователи движения / **Р.Ю. Бансявичус, А.К. Бубулис, Р.А. Волченкова** и др. - М.: Машиностроение, 1984. – 64 с.
4. **Ерицяն Л.В.** Анализ процесса резания и проектирование ножей с высокочастотными вибраторами в бумагорезальных полиграфических машинах //Вестник НПУА: Сб. науч. ст. – Ереван: НПУА "Чартарагет", 2018.-Часть 1. – С.63-68.
5. **Dallago M.**Orthotropic elastic constants of 2D cellular structures with variouslyarranged square cells: The effect of filleted wall junctions // International Journal of Mechanical Sciences. – 2017.- Vol. 122.-P. 63-87.

Received on 04.11.2018.

Accepted for publication on 18.12.2018.

ԿԱՆՈՆԱՎՈՐ ՄԻԿՐՈԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՈՎ ԵՅՈՒԹԵՐՈՒՄ ԼԱՐՈՒՄՆԵՐԻ ՌԻՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ՝ ՊՈԼԻԳՐԱՖԻԱԿԱՆ ՄԵՔԵՆԱՆԵՐԻ ՕՂԱԿՆԵՐԻ ՆԱԽԱԳԾՄԱՆ ԴԵՊՔՈՒՄ ԴՐԱՆՔ ԿԻՐԱՌԵԼՈՒ ՀԱՄԱՐ

Լ.Վ. Երիցյան

Պոլիգրաֆիական մեքենաների նախագծման ժամանակակից պահանջները ներառում են դրանք քաշը և գաբարիտային չափսերը նվազագույնի հասցնելը, ինչպես նաև շահագործման օպտիմալ ռեժիմների ապահովումը: Նշված պահանջները բավարարելու եղանակներից մեկը նոր, կանոնավոր միկրոկառուցվածքով նյութերի օգտագործումն է: Նմանատիպ նյութերը ստեղծվում են հատուկ տեխնոլոգիաների կիրառմամբ: Այս նյութերով պոլիգրաֆիական մեքենայի օղակներ նախագծելու համար նախ անհրաժեշտ է կատարել նյութի ամրության հաշվարկ, ուսումնասիրել լարվածային վիճակը նյութի միկրոկառուցվածքում: Անհրաժեշտ է նաև որոշել այն վտանգավոր կետերը, որտեղ առաջանում են առավելագույն լարումների կոնցենտրացիաների գործակիցները: Ներկայացվում են թվային մեթոդով նյութի բջջում լարվածային վիճակի մոդելավորման արդյունքները: Ստեղծված մոդելը թույլ է տալիս ստանալ լարումների կոնցենտրացիաների գործակիցների կախումը միկրոկառուցվածքի բջջի պատի հաստությունից և բջջի պատերի միջև առաջացող լծորդման շառավղից՝ նյութի տարբեր բեռնվածքների դեպքում: Հնարավորություն է ստեղծվում՝ գտնելու նյութի միկրոկառուցվածքի երկրաչափական օպտիմալ պարամետրերը:

Կանոնավոր միկրոկառուցվածքով նյութի նմանատիպ ուսումնասիրությունները թույլ են տալիս ստանալ մեխանիկական ցանկալի հատկություններով նյութեր, որոնք հնարավոր կլինի օգտագործել պոլիգրաֆիական եռադանակ մեքենաներում: Պոլիգրաֆիական մեքենաների օղակների նախագծումը՝ բջջային միկրոկառուցվածքով նյութերի կիրառմամբ, հանգեցնում է նյութական ռեսուրսների ակնհայտ խնայողությունների: Հնարավոր է նաև

նյութի բջիջները լցնել պիեզոակտիվ նյութերով, որոնք կճանաչեն որպես բարձր հաճախականության տատանման աղբյուրներ: Ստացված նյութով պատրաստված դանակով աշխատելու դեպքում բարելավվում են մեքենայի մի շարք բնութագրերը: Դանակին հաղորդվող տատանումների շնորհիվ բարձրանում են կտրման որակն ու ճշտությունը: Մոդելավորման արդյունքները ցույց են տալիս, որ տատանումների կիրառումը փոքրացնում է նաև անհրաժեշտ կտրման ուժը, ինչը հանգեցնում է էներգախնայողության:

Առանցքային բառեր. բջջային նյութ, կանոնավոր միկրոկառուցվածք, լարումների կոնցենտրացիայի գործակից, պոլիգրաֆիական սարքավորումներ, բարձրահաճախական տատանումներ:

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕГУЛЯРНЫХ МИКРОСТРУКТУРИРОВАННЫХ МАТЕРИАЛАХ С ПЕРСПЕКТИВОЙ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЗВЕНЬЕВ ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ МАШИН

Л.В. Ерицян

Современные требования к проектированию полиграфических машин включают минимизацию их весовых и габаритных параметров и обеспечение оптимальных режимов их функционирования. Одним из путей удовлетворения этих требований является применение новых регулярных микроструктурированных материалов, создание которых связано с использованием специальных технологий. Проектирование звеньев механизмов полиграфических машин из новых материалов предполагает проведение прочностных расчетов, учитывающих поведение напряжений в их микроструктуре. При этом существенное значение получает определение опасных точек и коэффициентов концентрации напряжений в материале ячеек микроструктуры. В данной работе представлены результаты численного моделирования напряженных состояний материала ячейки микроструктуры, выявляющие зависимость концентрации напряжений от ее геометрических параметров при различных видах нагружения звена.

Применение при проектировании звеньев полиграфических машин ячеистых регулярных микроструктурных материалов, помимо очевидной экономии материальных ресурсов, раскрывает новые перспективы внедрения пьезоактивных материалов в виде компонентов микроструктур, заполняющих пространство ячеек, в качестве источников высокочастотных вибраций, улучшающих характеристики машин. Реализация процесса резания с применением ножей с высокочастотными вибрациями приводит к повышению точности резки и качества конечной продукции, понижению потребной силы резания. Как следствие, уменьшаются также необходимая мощность привода и энергозатраты машины. Моделирование процесса резания в резальных полиграфических машинах показало, что применение ячеистых регулярных микроструктурных материалов обеспечивает улучшение технических и технологических параметров резальных машин.

Ключевые слова: ячеистый материал, регулярная микроструктура, коэффициент концентрации напряжений, полиграфическое оборудование, высокочастотные вибрации.