

Научная статья

Original article

УДК 62-5+62-4+62-1/-9

DOI 10.55186/02357801_2022_7_2_3



ПОВЕДЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРОВ

RESEARCH OF REGIONS DURING POLYMER EXTRUSION

Стефанович Максим Андреевич, студент магистратуры кафедры «Автоматика и телемеханика», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (346400 Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), начальник производственного участка терморасширяющейся ленты уплотнительной на полимерной основе АО «Унихимтек», (142181, обл. Московская, г. Подольск, ул. Заводская (Климовск Мкр.), 2 корп. 121), +7(989) 712-55-13, e-mail: maxsteff@ya.ru

Толстов Александр Михайлович, научный сотрудник лаборатории огнезащитных материалов АО «Унихимтек», (142181, обл. Московская, г. Подольск, ул. Заводская (Климовск Мкр.), 2 корп. 121), +7(989) 712-55-13, e-mail: Tolstov.a@ograx.ru

Губачев Владимир Анатольевич, к.э.н, доцент, доцент кафедры «Автоматика и телемеханика», ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова» (346400 Россия, Ростовская область, г. Новочеркасск, ул. Просвещения, 132), +7(928) 604-27-38, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1964-5816>, e-mail: gva-ngma@mail.ru

Stefanovich Maxim Andreevich, Master's student, Department of «Automatic equipment and telemechanics», South-Russian State Polytechnic University (NPI) named after M.I. Platova (346400 Russia, Rostov region, Novocherkassk, Prosveshcheniya st., 132, Novocherkassk), head of the production site of a thermally expanding polymer-based sealing tape at JSC «Unihimtek», (142181, Russia, Moscow region, Podolsk, Zavodskaya st. (Klimovsk Mkr.), 2 building 121), +7(989) 712-55-13, e-mail: maxsteff@ya.ru

Tolstov Alexander Mikhailovich, researcher of the laboratory of flame retardant materials of JSC «Unihimtek», (142181, Moscow region, Podolsk, Zavodskaya St. (Klimovsk Mkr.), 2 building 121), +7(989) 712-55-13 , e-mail: Tolstov.a@ograx.ru

Gubachev Vladimir Anatolyevich, PhD Econ., associate professor, associate professor «Automatic equipment and telemechanics» FGBOOU WAUGH "Southern Russian state polytechnical university (NPI) name of M.I. Platov", (346400 Russia, Rostov region, Novocherkassk, Prosveshcheniya st., 132, Novocherkassk) +7(928) 604-27-38, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1964-5816>, e-mail: gva-ngma@mail.ru

Аннотация

Экструзия является одним из самых распространенных и основных процессов пластического формования, и на течение металла при экструзии влияет множество факторов, таких как трение, форма штампа, температура заготовки и т.д. Среди этих факторов трение является ключевым граничным условием для определения свойств экструдированных продуктов.

В данной работе проведен анализ исследований и измерений полей областей скоростей и влияния трения на распределение скоростей в первоочередных экструдруемых образцах медного сплава с использованием метода визиопластичности. Для нахождения полных распределений скоростей по экспериментальным данным методом конечных разностей использовался метод визуальной пластичности. Проведено сравнение

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

распределения скоростей в образцах, экструдированных с разными смазками, имеющие разные коэффициенты трения.

Результаты в виде диаграмм показали, что влияние коэффициента трения смазки на распределение скоростей в экструдированном материале может иметь большое значение, особенно в некоторых критических областях холодноформованного материала.

S u m m a r y

Extrusion is one of the most common and basic plastic molding processes, and the metal flow during extrusion is influenced by many factors, such as friction, die shape, workpiece temperature, etc. Among these factors, friction is a key boundary condition for determining the properties of extruded products.

In this paper, the analysis of studies and measurements of the fields of velocity regions and the effect of friction on the velocity distribution in priority extruded copper alloy samples using the viscoplasticity method is carried out. The method of visual plasticity was used to find complete velocity distributions from experimental data by the finite difference method. The velocity distribution in samples extruded with different lubricants having different coefficients of friction is compared. The results in the form of diagrams showed that the influence of the coefficient of friction of the lubricant on the velocity distribution in the extruded material can be of great importance, especially in some critical areas of the cold-formed material.

Ключевые слова: экструзия, холодное формование, области экструзии.

Keywords: extrusion, cold forming, extrusion areas.

ВВЕДЕНИЕ

Трудно точно контролировать процессы экструзионного формования, используемые для изготовления сложных деталей, потому что в процессе

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

степень деформации, скоростные и напряженные состояния и формуемость материалов сильно различаются. Благодаря экономии материала, очень высокой производительности и большему сокращению механической обработки, холодное формование стало одной из самых многообещающих производственных технологий в массовом производстве различных компонентов, особенно в автомобильной промышленности. Когда технология и ее параметры стали лучше пониматься, инструменты, материалы, смазочные материалы и машины стали более надежными, а процесс стабилизировался.

Система обработки металлов давлением зависит от четырех основных групп влияющих параметров [1]: - исходный материал (физико-механические свойства, микро- и макрогеометрия) - инструмент (форма, жесткость, качество поверхности, износостойкость и сопротивление нагрузкам и т.д.) - формовочная машина (жесткость, кинематика, чувствительность к теплообмену и т. д.) - процесс формовки с параметрами, включающими воздействие смазочных материалов, деформацию, скорость деформации и распределение напряжения внутри заготовки, выделение тепла и т. д. Для достижения высокого качества процесса формовки металла и полной функциональности изделия, свойства материала, скорость, распределение напряжения и скорости деформации и т. д. должны быть проанализированы как можно точнее. Смазка также имеет большое значение во многих процессах обработки металлов давлением из-за ее влияния на износ инструмента, течение материала, деформационную характеристику и механические свойства формованных деталей [1, 2]. Знание значений скоростей и деформаций в пластической зоне формируемого материала при различных условиях смазки очень важно для расчета напряжений и прогнозирования качества образцов. Хотя теория пластичности дает достаточное количество независимых уравнений для определения механизма пластической деформации, получить полное решение общей задачи

формообразования без упрощения и приближений в механизме деформирования невозможно. Несмотря на то, что были проведены некоторые исследования, влияние трения на поле области скоростей в экструдированных образцах изучено недостаточно [3,4]. Для анализа задач обработки металлов давлением разработан ряд приближенных методов [4].

Для определения основных параметров обработки металлов давлением, особенно в процессах экструзии, использовались различные методы моделирования. Среди них метод визиопластичности, представляющий собой сочетание аналитического и экспериментального методов, дает наиболее реалистичное решение различных формообразующих задач. Кроме того, этот метод можно использовать как средство проверки аппроксимаций других решений. Он широко используется также в сочетании с некоторыми другими методами в процессах холодной и горячей обработки металлов давлением. Метод визиопластичности состоит в экспериментальном получении поля области скорости и расчете полных полей областей скорости, скорости деформации, деформации и напряжения с учетом уравнений равновесия и пластичности. В данной работе влияние трения на распределение скоростей в экструдированных образцах медного сплава было проанализировано с использованием метода визиопластичности. Проведено сравнение распределения скоростей в образцах, экструдированных с разными смазками с разными коэффициентами трения [5].

2. РАСЧЕТ ПОЛЯ ОБЛАСТИ СКОРОСТЕЙ МЕТОДОМ ВИЗИОПЛАСТИЧНОСТИ

Визопластичность — это метод получения информации о движении материала с использованием экспериментально определенного смещения полей областей скорости. Этот метод приобрел большее значение в последнее десятилетие из-за количественных измерений смещения узловых точек при ступенчатой деформации, описывающих картину течения материала. Течение материала можно определить, сравнивая

Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral"

недеформированную и деформированную сетки. Чаще всего квадратные сетки, состоящие из линейных сеток, используются на продольно вырезанных участках при объемной формовке. Сетка может быть нанесена на образец механическими средствами травления, фотографическими методами или прессованием. Линии сетки должны быть тонкими и четкими, а сетка сетки не должна расщепляться, что затруднит измерения.

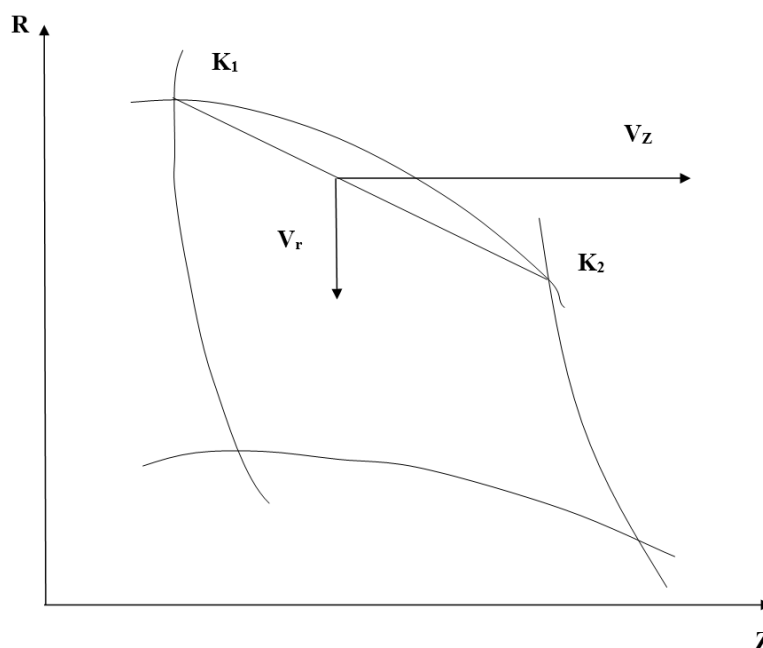


Рисунок 1 Определение поля скоростей по деформированной сетке.

На рисунке 1 точка K_1 , являющаяся отдельным элементом заготовки, при деформировании перемещается к K_2 и следует траектории – линии движения. В нашем случае линия движения также является линией тока из-за квазистационарного течения материала. Если шаг деформации мал, линия, соединяющая начальную и конечную точки (K_1 и K_2), также является мерой величины и направления скоростей в этих двух точках. В действительности скорость изменяется между одной точкой и другой на одной и той же линии тока. Поэтому предполагается средняя скорость между точками K_1 и K_2 . Если эту процедуру провести во всех точках сетки, то можно определить приблизительное поле скоростей процесса.

Из поля скоростей скорости деформации и напряжения могут быть определены с помощью уравнений пластичности. Для стационарных задач течения, в которых поле течения не меняется во времени, можно ввести функцию течения θ , измеряя координаты точек, расположенных вдоль линий сетки после достижения стационарных условий.

$$\begin{aligned}v_z &= r^{-1} \times \frac{\partial \theta}{\partial r} \\v_r &= -r^{-1} \times \frac{\partial \theta}{\partial z}\end{aligned}\tag{1}$$

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_r &= \frac{\partial v_r}{\partial r} \\ \dot{\varepsilon}_\theta &= \frac{\partial v_r}{\partial r} \\ \dot{\varepsilon}_z &= \frac{\partial v_z}{\partial z} \\ \dot{\varepsilon}_{rz} &= \frac{1}{2} \times \left(\frac{\partial v_z}{\partial z} + \frac{\partial v_r}{\partial z} \right)\end{aligned}\tag{2}$$

В экспериментальных исследованиях использовались стержни из специального медного сплава CuCrZr. Исходные размеры образцов составляли $\Phi 22$ мм x 32 мм. В плоскости меридиана половины расщепленного образца были нанесены квадратные сетки размером 1 мм.

Образец экструдировали через коническую головку с углом полуконуса $22,5^\circ$ и уменьшением площади на 73%. Были использованы три разных смазочных материала с разными коэффициентами трения ($\mu = 0,05$, $\mu = 0,11$ и $\mu = 0,16$). Основная трудность заключалась в том, что в процессе холодной экструзии использовались чрезвычайно высокие давления, а скорость формования была относительно низкой. Таким образом, жидкие смазочные материалы должны использоваться очень осторожно с тонкой, но равномерно скопившейся смазочной пленкой. Коэффициенты трения для всех

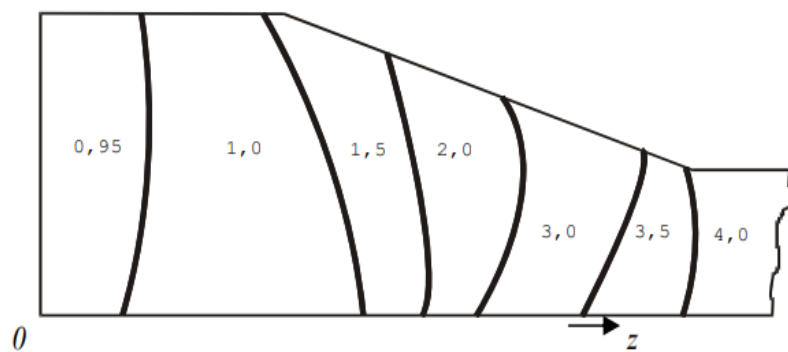
смазок определяли в кольцевых испытаниях. Поступательное выдавливание осуществляли при скорости пуансона 12 мм/с и процесс выдавливания останавливали, когда была выдавлена достаточная длина образца для обеспечения установившегося движения (Рисунок 2).



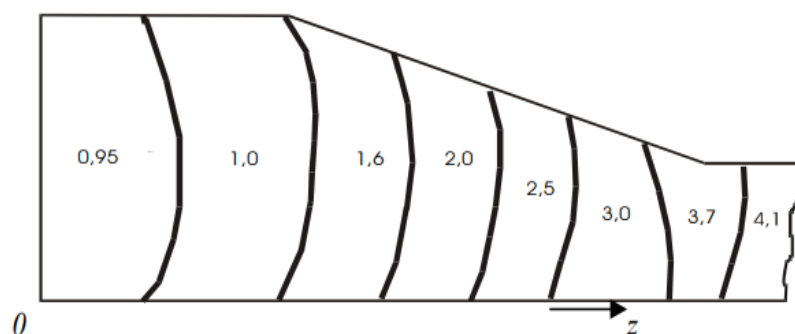
Рисунок 2 Деформированная сетка образца после прямого выдавливания.
($\mu = 0,05$, $v_{\text{п}} = 12$ мм/с, $R_{\text{обл}} = 73$ %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ АНАЛИЗ

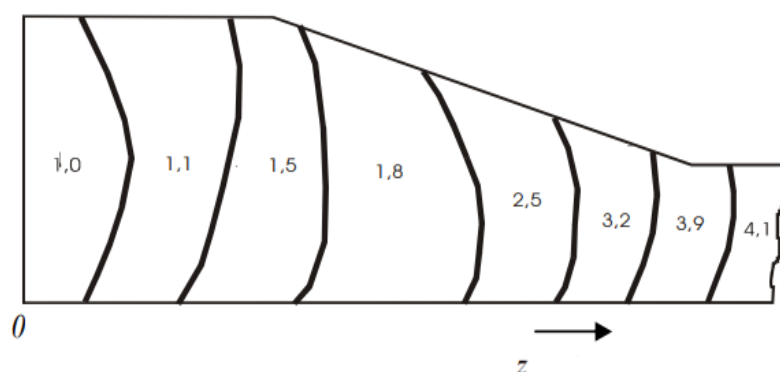
Деформированную сетку после экструзии (вправо Рисунок 2) измеряли путем измерения положения каждого узла микроскопа. Эти значения были заложены в специальную компьютерную программу для визиопластичности, разработанную в лаборатории формообразования материалов машиностроительного факультета Марибора, а также каждый узел исходной сетки, расстояние между узлами исходной сетки, кривая течения формируемого материала и скорость удара. Измерив разницу между исходными узлами сетки и узлами на деформированной сетке, можно было вычислить скорость каждой точки в r - и z -направлении. Результаты распределения скоростей в области деформирования образцов представлены на диаграммах приведённых на рисунках 3 и 4.



(a)



(b)



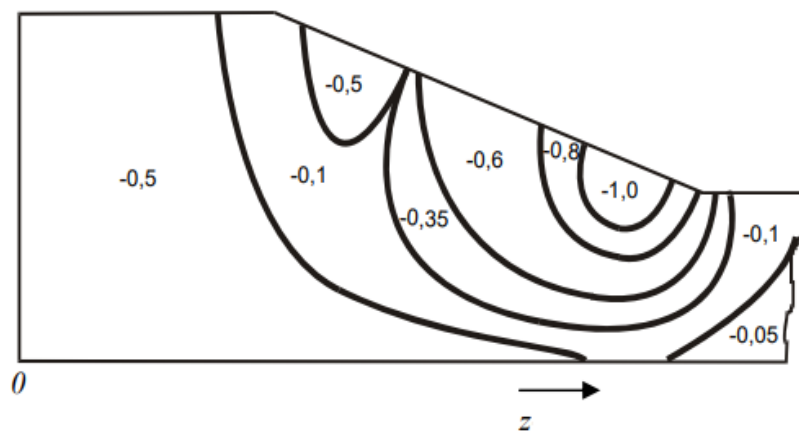
(c)

Рисунок 3 Контурные осевой скорости v_a [мм/с] ($v_{II} = 12$ мм/с, $R_{обл} = 73\%$)

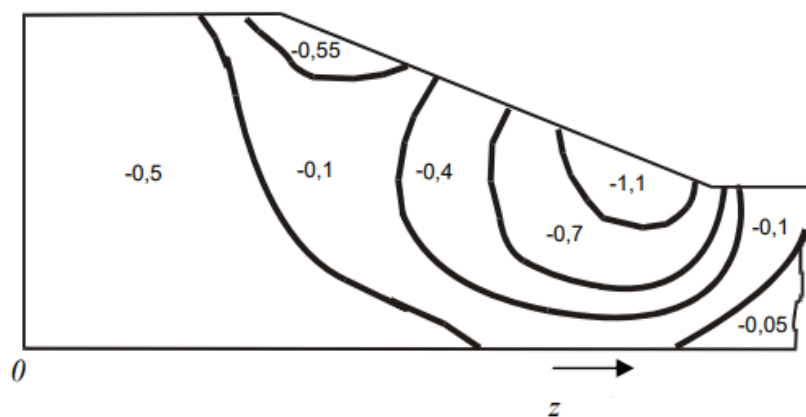
(a) Коэффициент трения $\mu = 0,05$

(b) Коэффициент трения $\mu = 0,11$

(c) Коэффициент трения $\mu = 0,16$.



(a)



(b)



(c)

Рисунок 4 Контуры осевой скорости v_a [мм/с] ($v_{II} = 12$ mm/s, $R_{обл} = 73\%$)

(a) Коэффициент трения $\mu = 0,05$

(b) Коэффициент трения $\mu = 0,11$

(c) Коэффициент трения $\mu = 0,16$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение осевой и радиальной скоростей в заготовке в процессе деформирования определяет распределение скорости деформации, напряженное состояние и достижимые пределы деформации. Усовершенствованная теория пластичности может использоваться для определения значений скорости и степени деформации в зоне деформации по локальным напряжениям, полученным в результате движения материала. Таким методом является визиопластичность, который очень полезен для детального анализа распределения основных напряжений, скоростей деформаций и напряжений в любом сечении внутри пластически деформированной области. На течение материала в основном влияют распределение деформации, эффекты деформационного упрочнения, геометрия инструмента и условия трения между заготовкой и инструментом.

Знание распределения скоростей в пластической области материала и выбор правильной смазки, ее надлежащее применение и ее влияние на износ, усилие формования, температуру, материал и геометры важны для прогнозирования качества образцов, а также могут способствовать повышению эффективности производства. В данной статье проанализировано влияние различных смазок с различными коэффициентами трения на осевую и радиальную составляющие скорости в медном сплаве CuCrZr, экструдированном прямым прессованием. Поля скоростей в аксиальной и радиальной осях определяли методом визиопластичности.

Эксперименты показали, что влияние коэффициента на компоненты скорости в экструдированных образцах невелико на большинстве измеренных участков деформированной зоны. На некоторых участках на выходе из деформированной зоны были получены значительные отличия. В этих зонах можно ожидать более высоких значений компонентов скорости при использовании смазочного материала с более высоким коэффициентом трения. Этот вывод особенно важен, т.к. влияние значений скорости на

скорость деформации и распределение напряжений зависит от холодноформованного материала и качества формованного образца.

Список использованных источников

1. H. Yang, M. Zhan, Y. L. Liu, F.J. Xian, Z.C. Sun, Y. Lin "Some Advanced Plastic processing Technologies and their Numerical Simulation", J Mater. Process. Technol 151(1-3), pp. 63 – 69, 2004.
2. Chokshi, R.; Zia, H. Hot-Melt Extrusion Technique: A Review. Iran. J. Pharm. Res. 2004, 3.
3. Sakai, T. Screw extrusion technology — Past, present and future. Polimery/Polymers 2013,58.
4. N. Bontcheva, , G. Petzov, and L. Parashkevov "Termomechanical modelling of hot extrusion of Al-alloy Computational Materials Science, 38(1), pp. 83-89, 2006.
5. M. Brezocnik, L. Gusel, " Predicting stress distribution in cold-formed material with genetic programming", Int. J. of Advanced Manufacturing Technology, Vol 23, pp. 467-474, 2004.

© Стефанович М.А., Толстов А.М., Губачев В.А., 2022 Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №2/2022.

Для цитирования: Стефанович М.А., Толстов А.М., Губачев В.А. ПОВЕДЕНИЕ ОБЛАСТЕЙ В ПРОЦЕССЕ ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРОВ // Международный журнал прикладных наук и технологий "Integral" №2/2022