

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ ОТЛИВОК ОТ СТОЯКА

Д.В. Пуклинов

puklinov@gmail.com

SPIN-код: 9172-4030

Т.Д. Клюквина

tklyukvina@yandex.ru

SPIN-код: 5140-2679

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Проведен поиск конструктивного исполнения и оптимальных сочетаний узлов обрезающего пресса для снижения сил деформирования при отделении отливок от стояка в процессе литья по выплавляемым моделям. Рассмотрены различные способы уменьшения сил резания: применение фильеры особой геометрии, введение вынужденных колебаний низких и ультразвуковых частот, а также комбинация этих способов. Приведены основные сведения о различных типах приводов: электромагнитный, электрогидравлический, гидромеханический, механический, электрострикционный. Особое внимание уделено приводам, позволяющим получать вынужденные колебания в зоне резания. Выполнен анализ рассмотренных вариантов и предложена принципиальная схема установки.

Ключевые слова

Отливка, отделение отливок, эффективность, привод, фильера, вырубка, вибрация, литье по выплавляемым моделям, деформирование отливок

Поступила в редакцию 15.05.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Особое место в проектировании современных машин и агрегатов занимают меры по снижению силы деформирования. При снижении рабочих сил увеличивается скорость работы машины, а значит, и ее производительность. Инженерной задачей является поиск баланса между достоинствами и недостатками агрегатов, применяемых для отделения отливок от стояка при литье по выплавляемым моделям, в том числе баланса между характеристиками машины, ее стоимостью и стоимостью ее содержания.

В данной статье рассмотрены варианты конструктивного исполнения и поиск оптимальных сочетаний узлов обрезающего пресса для снижения сил деформирования при отделении отливок от стояка в процессе литья по выплавляемым моделям, описаны эффекты и методы, которые можно использовать для решения поставленной задачи. Поиск готовых производственных решений снижения сил деформирования для обрезающих прессов не дает ожидаемого результата.

За отправную точку исследования примем использование традиционного способа вырубке и обыкновенной конфигурации инструмента на обрезающем прессе (рис. 1). Под действием силового гидроцилиндра стояк с отливками продавливается через режущий инструмент — фильеру. Известно применение виб-

рации при механической обработке деталей резанием, сверлением, давлением. Далее рассмотрим способы применения особой геометрии инструмента и приложения вынужденных колебаний малой амплитуды.

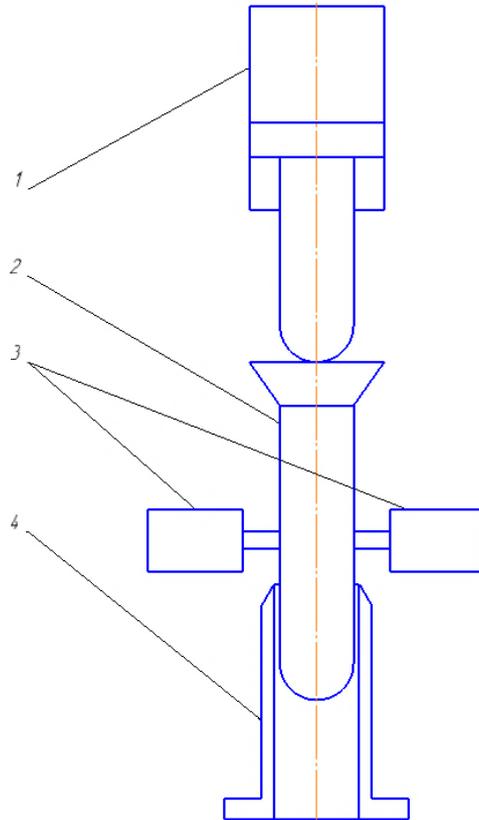


Рис. 1. Схема традиционного способа вырубki:

1 — силовой гидроцилиндр; 2 — стояк; 3 — отливки; 4 — фильера

Зададимся конкретными исходными данными и рассчитаем силу, необходимую для осуществления операции обрезки. Расчет осуществляется методом, который является обобщением способов, изложенных в исследованиях [1, 2]. Справочные данные взяты из работы [3].

Силу резания материала определим по формуле

$$P_T = LS\tau_{cp}, \quad (1)$$

где P_T — сила резания, Н; L — периметр вырубаемого (пробиваемого) контура, мм; S — толщина материала, мм; τ_{cp} — сопротивление срезу, Н/мм².

Для вычисления периметра вырубаемого контура необходимо определить длину дуги, по которой осуществляется вырубка, с учетом известной геометрии питателя (рис. 2).

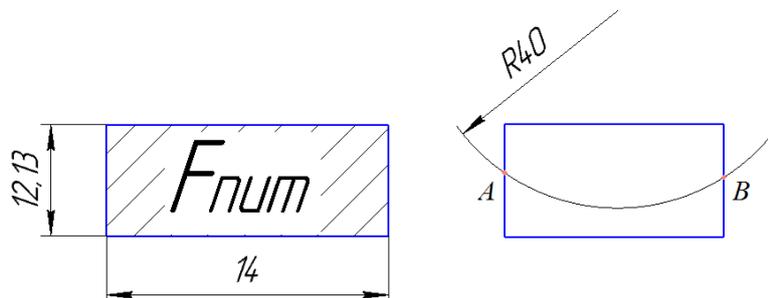


Рис. 2. Схема для определения длины дуги (F_{num} — площадь поперечного сечения питателя)

Длину дуги в миллиметрах найдем по геометрической формуле

$$\widehat{AB} = 2^2 \cdot D(F) \sqrt{2 - \sqrt{2 + \sqrt{4 - \left(\frac{AB}{D(F)}\right)^2}}}; \quad (2)$$

$$\widehat{AB} = 2^2 \cdot 40 \sqrt{2 - \sqrt{2 + \sqrt{4 - \left(\frac{14}{40}\right)^2}}} = 14,068 \text{ мм.}$$

Тогда периметр вырубаемого контура равен

$$L = 3 \cdot \widehat{AB};$$

$$L = 3 \cdot 14,068 = 42,204 \text{ мм.} \quad (3)$$

Подставим значения, рассчитанные по формулам (2) и (3), в выражение (1):

$$P_T = 42,204 \cdot 12,13 \cdot 75 = 38,595 \text{ кН.}$$

Полученное значение примем за отправную точку для того, чтобы иметь возможность для сравнения.

Конструкция пуансона, которая позволяет возбудить в обрабатываемой заготовке автоколебания, показана на рис. 3. Эффект заключается в приложении знакопеременной нагрузки. Очевидно, что инструмент входит в металл ступенчато. В результате такого вхождения процесс разрушения становится более интенсивным [4, 5].

В статическом плане по сравнению с традиционным методом изменятся только геометрия режущего инструмента. В динамическом плане эффект имеет существенные отличия. Суть в том,

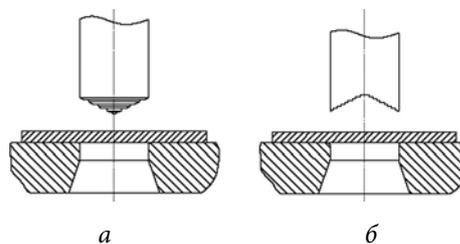


Рис. 3. Геометрия пуансона, возбуждающая автоколебания при вырубке:

a, б — различные формы пуансона

что при возникновении автоколебаний интенсивнее образуются скалывающие трещины, что благотворно сказывается на эффективности процесса отделения отливок от стояка [6, 7]. В работе [8] эмпирически было выявлено, что при предложенной геометрии инструмента усилие вырубki снижается в среднем в 1,56 раза. В нашем случае

$$P_{\text{ак}} = \frac{P_{\text{т}}}{1,56}; \quad (4)$$

$$P_{\text{ак}} = \frac{38,595}{1,56} = 24,74 \text{ кН.}$$

К достоинствам данного способа относится снижение рабочих сил и возможность использования его в комбинации с другими способами.

В работе [9] исследовали вибрационное резание, резание с введением вынужденных колебаний. В результате было выяснено, что искусственное возбуждение колебаний уменьшает деформирование стружки, упрочняет поверхность, позволяет снижать силу резания, изменяет условия трения. Полученные эффекты приводят к уменьшению износа инструмента, получению улучшенных качеств поверхности, снижению сил и увеличению общей стабильности системы. Кроме того, в своих исследованиях авторам удалось доказать эффективность применения вынужденных колебаний для обработки прочных материалов, которая заключается в уменьшении силы и момента резания на 25...30 % и повышении стойкости инструмента.

Автор работы [10] рассматривает обработку деталей с применением вынужденных колебаний, в том числе вибрационную вырубку. Он отмечает, что наибольшая эффективность вырубki лежит в пределах частот вибраций 20...100 Гц и 20...50 кГц. Автор различает пять основных типов вибрационных приводов:

- 1) электромагнитный (диапазон применения 20...200 Гц);
- 2) электрогидравлический (диапазон применения 20...200 Гц);
- 3) гидромеханический (диапазон применения 20...200 Гц);
- 4) механический (диапазон применения 20...100 Гц);
- 5) электрострикционный (диапазон применения 20...50 кГц).

При использовании электромагнитного привода поступательные движения можно получать непосредственно, при подводе к нему энергии. С помощью данного привода вибрацию можно подводить как к обрабатываемой детали, так и к инструменту. Пример современного электромагнитного привода показан на рис. 4.

Электромагнитный привод не используется для получения вращательного движения. Применение привода данного типа на обрезающем прессе затруднено тем, что устанавливать его нужно на шток гидроцилиндра. Установка под фильерой невозможна из-за отсутствия отверстия в центре вибратора для проталкивания стояка. Шток является подвижным элементом, следовательно, в такой

компоновке усложняется подвод энергии к вибратору. Кроме того, вибратор рассматриваемого типа нуждается в дополнительном оборудовании — цифровом регуляторе частотной модуляции, который формирует режим работы вибратора.

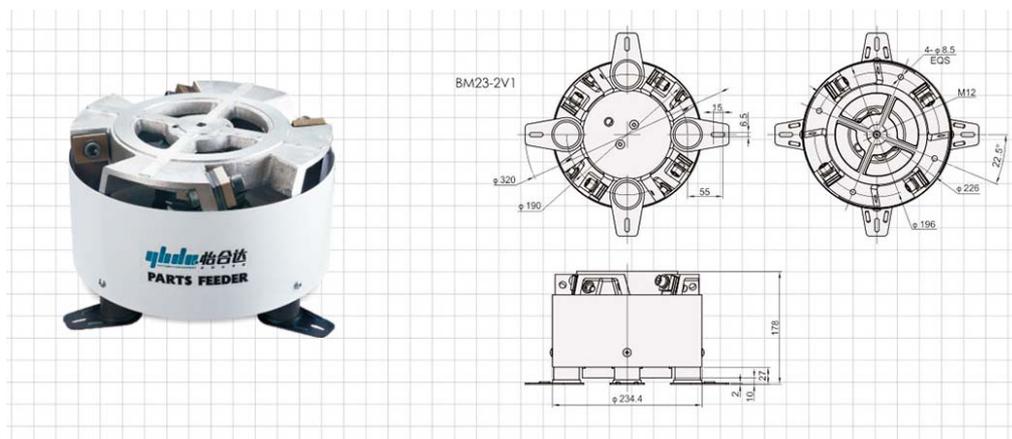


Рис. 4. Электромагнитный привод PARTS FEEDER

В электрогидравлическом приводе с помощью электрических сигналов попеременно изменяется направление течения рабочей жидкости в гидроцилиндре. Такой режим течения обеспечивает получение поступательного движения малой амплитуды в диапазоне 20...200 Гц. Использование электрогидравлического привода позволяет получать вращательное движение режущего инструмента. Так же, как и электромагнитный привод, электрогидравлический привод нуждается в управляющей электронике. Кроме того, для его работы необходимо наличие гидросистемы, которая уже есть на обрезающем прессе. Для осуществления вынужденных колебаний рассматриваемым способом можно модернизировать один из уже имеющихся в конструкции гидроцилиндров.

В гидромеханическом приводе (рис. 5) вращательное движение электродвигателя с помощью кривошипно-шатунного или кулачкового механизма преобразуется в возвратно-поступательное движение золотникового клапана. При этом исполнительный механизм обеспечивает вибрацию с той же частотой, что и клапан, и амплитудой 0,2...0,3 мм. Гидромеханический привод позволяет получать круговое движение режущего инструмента. Данный способ менее технологичен по сравнению с электрогидравлическим, однако для преследуемых целей также хорошо подходит.

В механическом приводе (рис. 6) вибрацию получают путем преобразования вращательного движения вала двигателя через кривошипно-шатунный или многорычажный механизм. Существуют схемы реализации как для поступательного, так и для вращательного движения.

При реализации введения в зону резания ультразвуковых колебаний их амплитуда составляет всего несколько микрон. Механизм резания при ис-

пользовании ультразвука существенно отличается от остальных. Когда режущий инструмент воздействует на заготовку с такой частотой, в зоне резания на микроуровне в точке контакта образуется высокая температура. По сути фильера расплавляет питатель. Резание по точке расплавления осуществляется значительно легче, чем по твердому металлу. Этим можно объяснить высокую эффективность применения данных вибраторов.

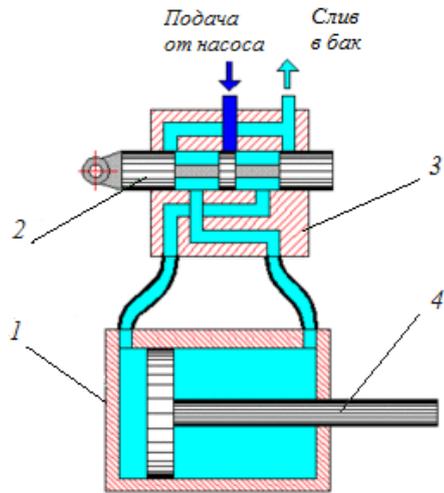


Рис. 5. Структурная схема гидромеханического привода:

1 — корпус гидроцилиндра; 2 — золотник;
3 — корпус распределителя; 4 — шток

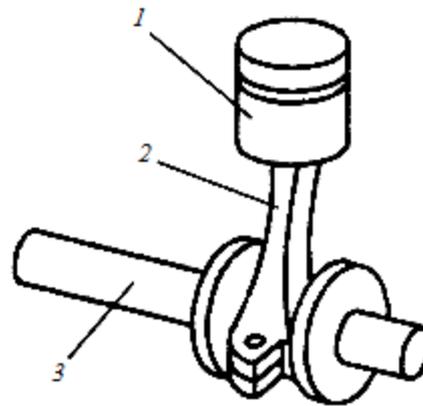


Рис. 6. Пример механического привода поступательного движения:

1 — поршень; 2 — шатун; 3 — коленчатый (кривошипный) вал

Электрострикционный привод работает в диапазоне ультразвуковых частот. От генератора ультразвуковой частоты сигнал поступает на сердечник магнестрикционного вибратора, на нем сигнал преобразуется в механические колебания малой амплитуды (несколько микрометров). Далее с помощью концентратора (рис. 7) амплитуда может быть увеличена (до значения примерно 20 мкм). Вибратор данного типа нуждается в управляющем оборудовании.

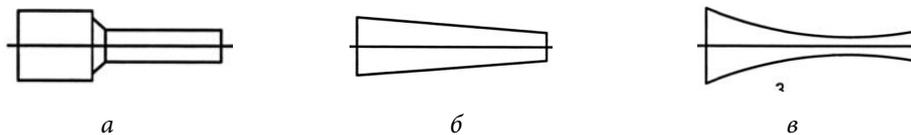


Рис. 7. Волновод (концентратор) вибраций:

а-в — различные формы волноводов

Существуют также вибраторы рассматриваемого типа с кольцевой реализацией, что позволяет устанавливать их под основание фильеры. Согласно [11] вибратор способен выдерживать нагрузку до 100 кН. Однако при этом сам кри-

сталл является крайне хрупким и при попадании в зону креплений пыли или стружки (возникновение точечной нагрузки) может дать трещину.

Из приведенных выше сведений можно установить, что вырубку производят традиционным способом, с применением особой формы режущего инструмента, вызывающего появление автоколебаний, а также с применением вибрации. Частота приложенных вибрационных колебаний, с учетом рекомендаций для вибрационной вырубки, находится в пределах 20...100 Гц и 20...50 кГц. Таким образом, получаем четыре основных варианта осуществления вырубки [12]:

- 1) традиционным способом;
- 2) с применением автоколебаний;
- 3) с применением вибрации частотой до 100 Гц;
- 4) с применением ультразвуковой вибрации.

У приведенных выше способов есть свои преимущества и недостатки [13].

Применение знакопеременной нагрузки в виде приложения вибрации является надежным методом повышения эффективности работы вырубного пресса.

Наименее рациональным способом, несмотря на заявляемые производителями высокие показатели долговечности, является применение ультразвуковых вибраций: дорогостоящее оборудование и ненадежность работы в условиях запыления.

Поскольку под применением автоколебаний подразумевается использование особой геометрии инструмента, а также в силу того, что данный способ можно использовать как дополнительный способ повышения эффективности, было принято решение о введении в зону резания вынужденных колебаний низкой частоты.

Далее следует выбрать тип привода. Вариант с использованием электромагнитного привода исключается в силу слабой сопротивляемости угасанию вибраций. Такой привод может быть использован, например, для вибробункеров. Механический привод не подходит по причине сложности воплощения в предполагаемой конструкции. Примем, что вынужденные колебания низкой частоты осуществляются способом электрогидравлический подачи вибрации, поскольку этот способ является более технологичным по сравнению с гидромеханическим.

Для реализации рассматриваемого способа предлагаем применять систему, изображенную на рис. 8. От управляющего импульсного модулятора идет сигнал на электроуправляемый золотниковый клапан. Во время прямого хода силового гидроцилиндра клапан открыва-

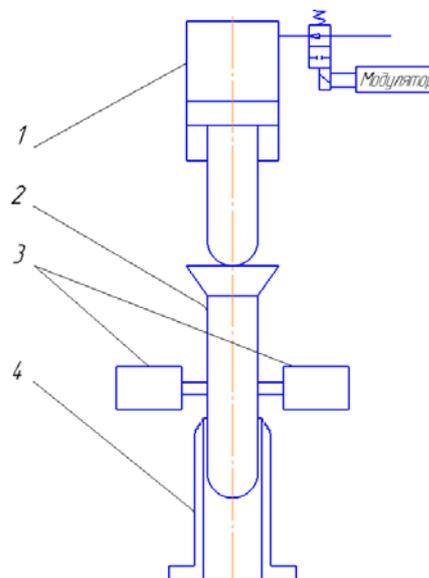


Рис. 8. Принципиальная схема предлагаемой конструкции:

- 1 — силовой гидроцилиндр; 2 — стояк;
3 — отливки; 4 — фильтра

ется и закрывается с заданной на модуляторе частотой. Таким образом получена пульсирующая нагрузка на штоке и, соответственно, на обрабатываемой детали. Дополнительного повышения эффективности планируется добиться применением фильеры, имеющей ступенчатую форму.

В данной статье были рассмотрены возможные варианты повышения эффективности работы обрезающего пресса для отделения отливок от стояка при литье по выплавляемым моделям. Выполнен выбор способа повышения эффективности работы благодаря организации нелинейного приложения нагрузки, обеспечиваемого ступенчатой формой режущего инструмента и электрогидравлического вибратора. Предложена принципиальная схема установки.

Литература

- [1] Николенко К.А. *Практические занятия. Расчёт технологических процессов формования листового материала*. Самара, Изд-во Самарского государственного аэрокосмического ун-та, 2011, 47 с.
- [2] Расчет усилия вырубки. Расчет усилия вырубки в штампах с прямыми и скошенными режущими кромками. URL: <http://delta-grup.ru/bibliot/2/27.htm> (дата обращения 05.06.2018).
- [3] Анурьев В.И. *Справочник конструктора-машиностроителя*. Т. 1. Москва, Машиностроение, 2001, 920 с.
- [4] Романовский В.П. *Справочник по холодной штамповке*. Ленинград, Машиностроение, 1979, 520 с.
- [5] Григорьев Л.Л. *Рациональные варианты холодной штамповки. Технико-экономические критерии*. Ленинград, Машиностроение, 1975, 232 с.
- [6] Кухтаров В.И. *Стойкость штампов для холодной листовой штамповки*. Москва, Машгиз, 1958, 91 с.
- [7] Клименко В.М., Шаповал В.Н. *Вибрационная обработка металлов давлением*. Киев, Техника, 1977, 128 с.
- [8] Караваева Д.Н., Пучков В.П. Повышение стойкости рабочих элементов разделительных штампов. *Технические науки – от теории к практике. Сб. ст. X международ. науч.-практ. конф.* Новосибирск, СибАК, 2012, с. 54–65.
- [9] Мазур Н.П., Грабченко А.И., ред. *Основы теории резания материалов*. Харьков, НТУ «ХПИ», 2013, 534 с.
- [10] Кумабэ Д. *Вибрационное резание*. Москва, Машиностроение, 1985, 424 с.
- [11] Каталог продукции компании ООО «Аврора-ЭЛМА». URL: <http://avroga-elma.ru/#catalog> (дата обращения 05.12.2017).
- [12] Марцинюк О.Б., Драгобецкий В.В., Маркевич А.Г. Виброобработка деформирующим инструментом при разделительных операциях листовой штамповки. *Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського*, 2009, № 1(54), часть 1, с. 42–45.
- [13] Чиченёв Н.А., Кудрин А.Б., Полухин П.И. *Методы исследования процессов обработки металлов давлением*. Москва, Металлургия, 1977, 312 с.

Пуклинов Дмитрий Владимирович — студент магистратуры кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Клюквина Татьяна Дмитриевна — студентка магистратуры кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Мандрик Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Литейные технологии», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

**INCREASING THE EFFICIENCY OF THE PROCESS
OF SEPARATING THE CASTS FROM THE SPRUE**

D.V. Puklinov

puklinov@gmail.com
SPIN-code: 9172-4030

T.D. Klyukvina

tklyukvina@yandex.ru
SPIN- code: 5140-2679

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article is aimed at finding the structural design and best configurations of the trimming machine substructures in order to reduce the deformation forces when separating the casts from the sprue in the process of the investment casting. The authors consider different ways of reducing the cutting forces: applying the die of special geometry, implementation of the forced oscillations of low and ultrasonic frequencies as well as the combination of these ways. We provide basic information concerning various types of drives: electromagnetic, electro-hydraulic, hydraulic-mechanical, mechanical, electrostrictive. Special attention is given to the drives allowing us to get the forced oscillations in the cutting area. We analyze the options considered and suggest a principle installation diagram.

Keywords

Cast, separating the casts, efficiency, drive, die, cut, vibration, investment casting, deformation of the casts

Received 15.05.2018

© Bauman Moscow State Technical
University, 2018

References

- [1] Nikolenko K.A. Prakticheskie zanyatiya. Raschet tekhnologicheskikh protsessov formoobrazovaniya listovogo materiala [Practice. Calculation of metal fabrication technological processes]. Samara, Izd-vo Samarskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo un-t publ., 2011, 47 p.
- [2] Raschet usiliya vyrubki. Raschet usiliya vyrubki v shtampakh s pryamymi i skoshennymi rezhushchimi kromkami [Calculation of cutting-out force. Calculation of cutting-out force in stamps with straight and beveled cutting edges]. Available at: <http://delta-grup.ru/bibliot/2/27.htm> (accessed 05 June 2018).
- [3] Anur'yev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroytelya. T. 1 [Handbook of mechanical engineer. Vol. 1]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2001, 920 p.
- [4] Romanovskiy V.P. Spravochnik po kholodnoy shtampovke [Handbook on cold stamping]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1979, 520 p.
- [5] Grigor'yev L.L. Ratsional'nye varianty kholodnoy shtampovki. Tekhniko-ekonomicheskie kriterii [Rational variants of cold stamping. Technical-economical criteria]. Leningrad, Mashinostroenie publ., 1975, 232 p.
- [6] Kukhtarov V.I. Stoykost' shtampov dlya kholodnoy listovoy shtampovki [Die life of stamp for cold stamping]. Moscow, Mashgiz publ., 1958, 91 p.
- [7] Klimenko V.M., Shapoval V.N. Vibratsionnaya obrabotka metallov davleniem [Vibrational metal treatment by pressure]. Kiev, Tekhnika publ., 1977, 128 p.

- [8] Karavaeva D.N., Puchkov V.P. Povyshenie stoykosti rabochikh elementov razdelitel'nykh shtampov [Increase of firmness of working elements of dividing stamps]. *Tekhnicheskie nauki — ot teorii k praktike. Sb. st. X mezhdunar. nauch.-prakt. konf* [Technical sciences — from theory to practice. Proc. X Int. Sci.-Pract.Conf.]. Novosibirsk, SibAK publ., 2012, pp. 54–65.
- [9] Mazur N.P., Grabchenko A.I., eds. Osnovy teorii rezaniya materialov [Fundamentals of metal cutting theory]. Khar'kov, NTU “KhPI” publ., 2013, 534 p.
- [10] Kumabe D. Vibratsionnoe rezanie [Vibrational cutting]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1985, 424 p.
- [11] Katalog produktsii kompanii OOO “Avrora-ELMA”. [Production catalog of “Aurora-ELMA” company]. Available at: <http://avrora-elma.ru/#catalog> (accessed 05 December 2017).
- [12] Martsinyuk O.B., Dragobetskiy V.V., Markevich A.G. Vibration treatment by deforming tool in sheet stamping shearing operations. *Visnik KDPU imeni Mikhaïla Ostrograds'kogo* [Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University], 2009, no. 1(54), part 1, pp. 42–45.
- [13] Chichenev N.A., Kudrin A.B., Polukhin P.I. Metody issledovaniya protsessov obrabotki metallov davleniem [Research methods for pressure metal treatment processes]. Moscow, Metallurgiya publ., 1977, 312 p.

Puklinov D.V. — Master's Degree student, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Klyukvina T.D. — Master's Degree student, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — A.A. Mandrik, Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Casting Technology, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.