

Тухветова Л. М., Столяров А.Ю., Корчунов А.Г., Огнева Е.М., Константинов Д.В.

К АНАЛИЗУ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ИНСТРУМЕНТА ПРИ ВОЛОЧЕНИИ ШЕСТИГРАННОГО ПРОФИЛЯ

Аннотация. В работе представлены результаты численного моделирования напряжённно-деформированного состояния, возникающего в инструменте, при волочении шестигранного профиля по схеме «шестигранник-шестигранник». Целью работы являлось исследование влияния угла рабочей зоны волочильного инструмента и величины единичной деформации на возникающие в инструменте контактные напряжения, интенсивность напряжений, а также величину упругой деформации. В качестве используемого метода было выбрано конечно-элементное моделирование в программном комплексе Abaqus. Новизна полученных результатов состоит в получении уникальных данных о локализации напряжений в теле волочильного инструмента для специфичного вида длинномерных изделий. В результате проведённого анализа установлено, что уменьшение угла рабочей зоны волочильного инструмента приводит к локализации контактных напряжений в области вершин шестигранника, а также к увеличению интенсивности напряжений. По этой причине с точки зрения повышения стойкости инструмента волочение шестигранных профилей следует вести при увеличенных углах рабочей зоны волоки. Использование увеличенных углов приведёт к уменьшению длины рабочей зоны волоки, что, в свою очередь, будет благоприятно влиять на условия трения в очаге деформации. Также установлено, что уменьшение величины единичной деформации создаёт более благоприятные условия напряжённно-деформированного состояния инструмента, а именно приводит к уменьшению отрицательного действия контактных напряжений.

Ключевые слова: волочение, калиброванная сталь, напряжённно-деформированное состояние, волока, инструмент, конечно-элементное моделирование

Введение

Процесс волочения шестигранного профиля имеет определённые особенности по сравнению с волочением круглого профиля. Это связано в первую очередь с более существенной неравномерностью деформации. С одной стороны, диапазон готовых размеров шестигранного профиля, получаемых методом волочения, составляет более 17 мм и при этом используются заготовки размером более 20 мм. Для процесса волочения проката такого диапазона размеров характерно проявление масштабного фактора, обусловленного существенной неравномерностью свойств исходной заготовки. С другой стороны, получение готового размера шестигранных профилей обеспечивается процессом деформации проката при малых степенях пластической деформации, что приводит к её существенной неравномерности.

В практике получение готового шестигранного профиля осуществляется методом последовательного волочения заготовки шестигранного сечения. Как отмечают авторы работ [1, 2], сравнивая различные схемы деформации проката шестигранного профиля, наиболее благоприятной с точки зрения напряжённно-деформированного состояния является схема волочения из круга в шестигранник методом комбинированного волочения. Данный метод был разработан Славиным В.С. и др. [3], заключается в последовательном деформировании круглого проката сначала через роликовую, а затем через монолитную волоку. В работе [4] описан способ и приведён анализ процесса получения шестигранного профиля с использованием волоки, имеющей выступы на гранях. Данный способ не

нашёл широкого применения ввиду сложности подготовки технологического инструмента.

Независимо от метода окончательное формирование шестигранного профиля осуществляется в монолитной волоке. При этом инструмент при волочении шестигранных профилей является «слабым звеном», накладывая на процесс существенные ограничения по скорости и, соответственно, по производительности. Это связано с тем, что из-за высокой протяжённости по абсолютной величине очага деформации при волочении больших профилируемых размеров существенное влияние на процесс оказывают реактивные силы трения. В связи с этим стойкость волочильного инструмента существенно снижается. При этом процесс его (инструмента) изготовления очень сложен и трудоёмок – доводка твердосплавных заготовок шестигранных фильер до необходимых размеров осуществляется вручную. Таким образом, анализ напряжённно-деформированного состояния инструмента при волочении шестигранных профилей заслуживает особого внимания.

На сегодняшний день благодаря развитию комплексов конечно-элементного моделирования появилась возможность проводить анализ напряжённного состояния инструмента, в частности при волочении. Так, авторами работы [5] проводился анализ напряжённного состояния алмазного волочильного инструмента при волочении тонкой круглой проволоки, в работе [6] исследовалась упругая деформация волоки при волочении круглой калиброванной стали. При этом работ, посвящённых анализу напряжённного состояния в волочильном инструменте при изготовлении шестигранного профиля, на сегодняшний день недостаточно.

Целью настоящей работы является анализ напряжённного состояния волочильного инструмента

при волочении шестигранного профиля в монолитной волоке в зависимости от угла рабочей зоны и величины единичной деформации.

Метод и материалы

Анализ напряжённого состояния, возникающего в волочильном инструменте, проведён для компьютерного эксперимента, описанного в работе [7]:

- исследованию подвергался твердосплавный инструмент, используемый при волочении шестигранного профиля, из стали марки 38ХС, выбор данной марки стали обусловлен как наиболее критичной с точки зрения практики процесса волочения;

- при моделировании изменялся рабочий угол волоки (16, 18, 20 градусов) и степень относительной деформации (единичного обжатия) 10 и 12%.

Компьютерное моделирование проводилось в комплексе Simulia Abaqus с применением решателя Standard (Static General). Модели как инструмента, так и обрабатываемой заготовки были упругопластическими. Общее количество элементов модели волочильного инструмента – 115 893.

Результаты и их анализ

На рис. 1-3 приведён анализ напряженного состояния волочильного инструмента, а также упругих деформаций в зависимости от угла рабочей зоны при величине единичной деформации 10%.

Анализ полученных данных показывает, что распределение контактных напряжений при угле рабочей зоны волоки 16° характеризуется меньшими абсолютными значениями, но имеет высокую локализацию в области ребер шестигранника, что может быть причиной неравномерного износа инструмента. Вследствие подобного распределения контактных напряжений распределение интенсивности напряжений при угле рабочей зоны волоки 16° также локализовано в области ребер шестигранника. При углах больше 16° ярко выраженных локализаций как напряжений Мизеса, так и упругих деформаций не наблюдается.

На рис. 4-6 приведён анализ напряженного состояния волочильного инструмента, а также упругих деформаций в зависимости от величины единичной деформации при угле рабочей зоны 18°.

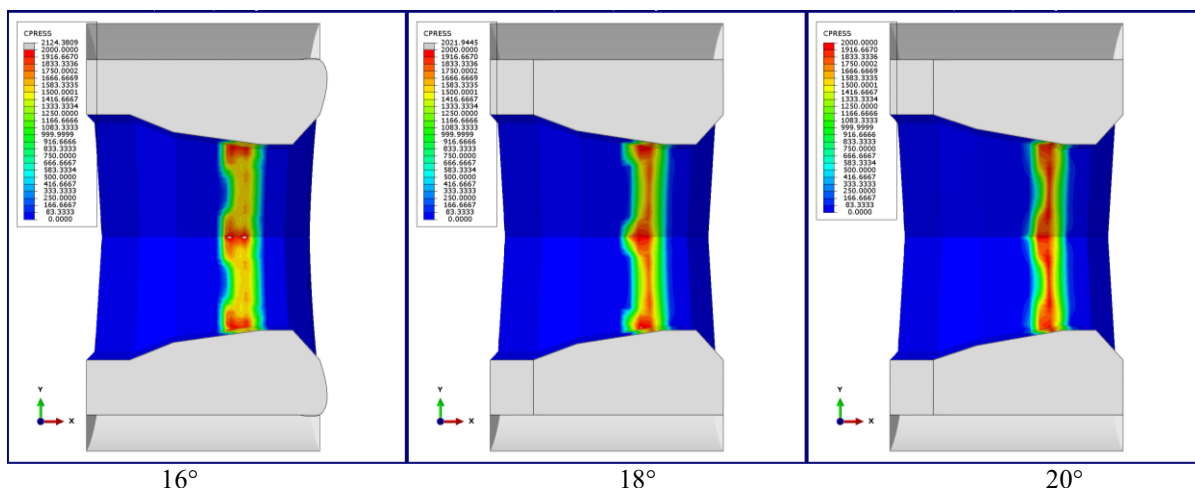


Рис. 1. Распределение контактных напряжений в волочильном инструменте в зависимости от угла рабочей зоны

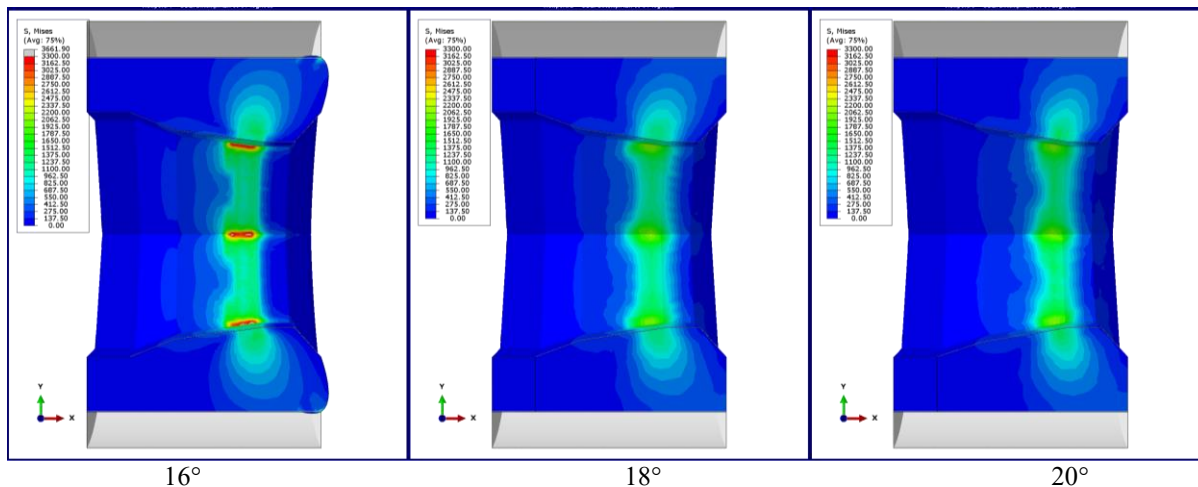


Рис. 2. Распределение напряжений Мизеса в волочильном инструменте в зависимости от угла рабочей зоны

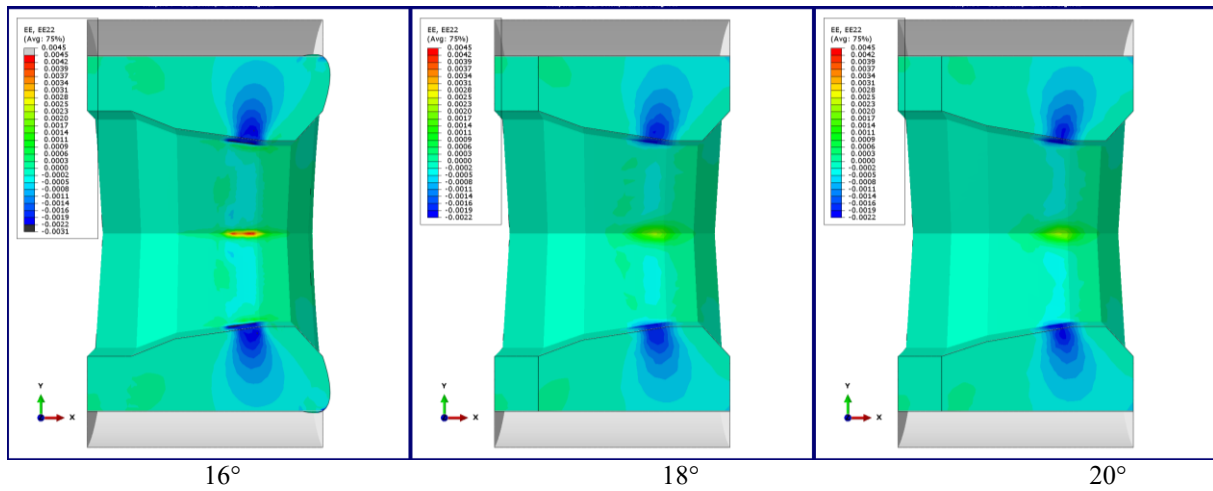


Рис. 3. Распределение упругих деформаций в волочильном инструменте в зависимости от угла рабочей зоны

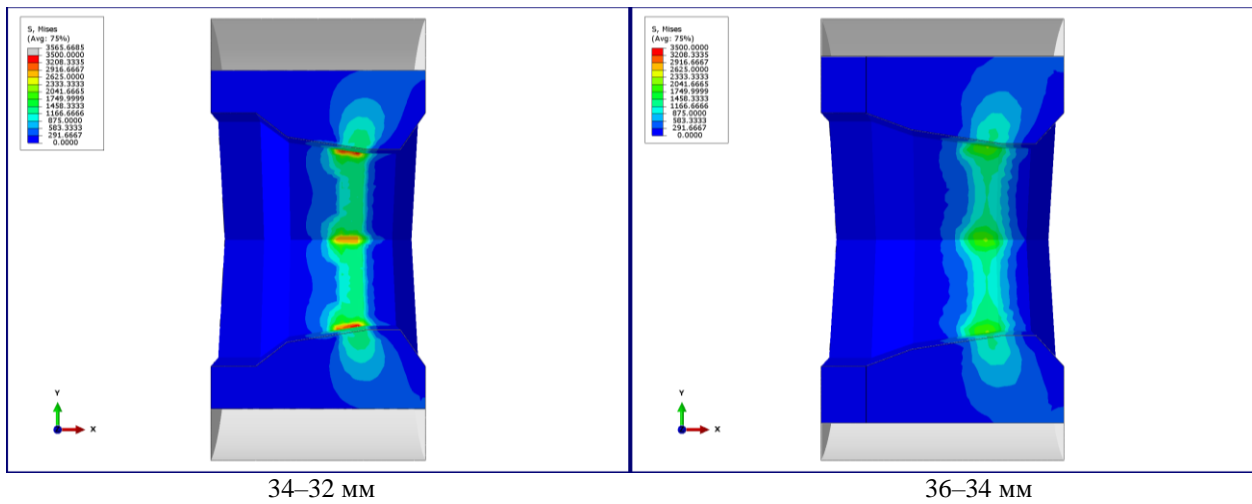


Рис. 4. Распределение напряжений Мизеса в волочильном инструменте с различными степенями деформации

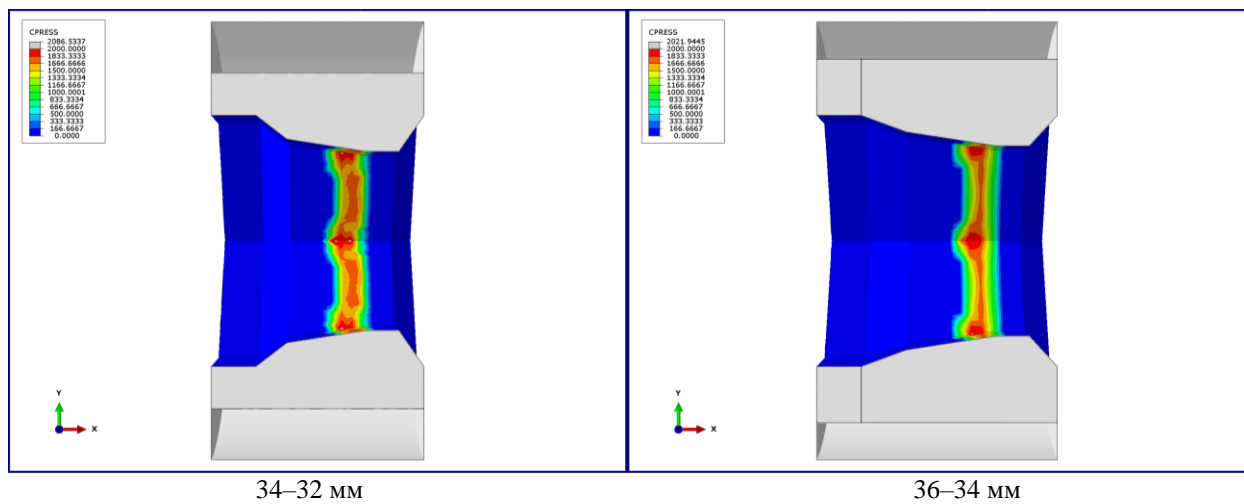


Рис. 5. Распределение контактных напряжений в волочильном инструменте с различными степенями деформации

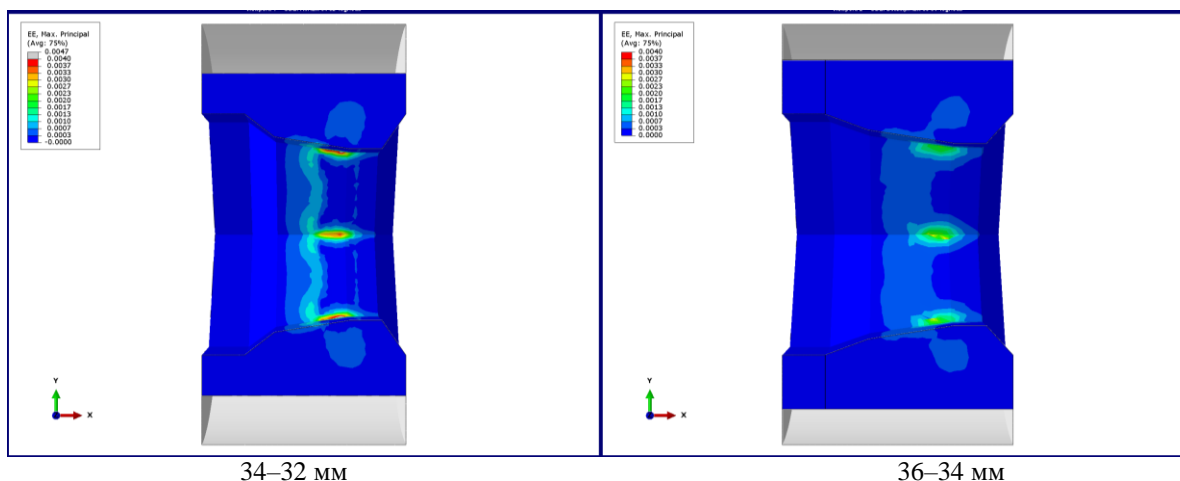


Рис. 6. Распределение упругих деформаций в волочильном инструменте с различными степенями обжатия

Из данных, приведённых на рис. 4-6, установлено, что напряженно-деформированное состояние инструмента при волочении с 34 до 32 мм менее благоприятное, так как также имеет ярко выраженный локализованный характер, что потенциально может стать причиной более быстрого разрушения инструмента или его износа.

Заключение

В результате проведённого анализа установлено, что уменьшение угла рабочей зоны волочильного инструмента приводит к локализации контактных напряжений в области вершин шестигранника, а также к увеличению интенсивности напряжений. По этой причине с точки зрения повышения стойкости инструмента волочение шестигранных профилей следует вести при увеличенных углах рабочей зоны волокна. Использование увеличенных углов приведёт к уменьшению длины рабочей зоны волокна, что, в свою очередь, будет благоприятно влиять на условия трения в очаге деформации. Также установлено, что уменьшение величины единичной деформации создаёт более благоприятные условия напряженно-деформированного состояния инструмента, а именно приводит к уменьшению отрицательного действия контактных напряжений.

Сведения об авторах

Тухветова Луиза Марсовна – ведущий специалист сталепроволочного производства, ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: tukhvetova.lm@mmk-metiz.ru

Столяров Алексей Юрьевич – кандидат технических наук, начальник технологического центра – главный технолог, ОАО «ММК-МЕТИЗ», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: stolyarov.ay@mmk-metiz.ru

Список литературы

1. Гун Г.С., Корчунов А.Г., Пивоварова К.Г. Анализ технологических схем волочения шестигранного профиля // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. 2013. С. 96-102
2. Опыт производства калиброванной стали с шестигранным поперечным сечением / С.Е. Носков, Е.А. Пудов, Л.П. Ряхова, В.М. Одинаева, Н.С. Ясюкевич // *Обработка сплошных и слоистых материалов*. 2011. С. 53-57.
3. Славин В.С., Вершигора С.М., Пантелеев В.С. Комбинированная технологическая схема производства калиброванного шестигранного проката // *Сталь*. 2007. № 2. С. 91-93.
4. Железков О.С., Малоканов С.А., Платов С.И. Напряженно-деформированное состояние и формоизменение при волочении шестигранных профилей из круглой заготовки // *Черные металлы*. 2016. №4. С.31-35
5. Порубов А.В., Мельникова Т.Е. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния технологического инструмента для тонкого волочения // *Инновационные технологии: теория, инструменты, практика*. 2014. Т. 1. С. 37-41.
6. Моделирование упругой деформации волокна с использованием CAE системы DEFORM-3D / А.Г. Корчунов, Д.А. Шеметова, В.Ю. Бабенцева, А.Г. Ульянов // *Механическое оборудование металлургических заводов: Межрегиональный сборник научных трудов под ред. А.Г. Корчунова*. Магнитогорск, 2012. С. 62-67.

Корчунов Алексей Георгиевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой проектирование и эксплуатация металлургических машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: agkorchunov@mail.ru

Огнева Екатерина Михайловна – кандидат технических наук, специалист УМД, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: fekla_med@mail.ru

Константинов Дмитрий Вячеславович – кандидат технических наук, специалист УМД, ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, Россия. E-mail: const_dimon@mail.ru, +7-982-30-7777-0

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

ANALYSIS OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE TOOL DURING HEXAGONAL PROFILE DRAWING

Tukhvetova Luiza M. – leading specialist of steel wire production, OJSC MMK-METIZ, Magnitogorsk, Russia. E-mail: tukhvetova.lm@mmk-metiz.ru

Stolyarov Alexey Yu. – Ph.D., head of the technology center - chief technologist, OJSC MMK-METIZ, Magnitogorsk, Russia. E-mail: stolyarov.ay@mmk-metiz.ru

Korchunov Alexey G. – D.Sc., Professor, Head of Design and operation of metallurgical machines and equipment Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: agkorchunov@mail.ru

Ogneva Ekaterina M. – Ph.D., Specialist of International Affairs Office, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: fekla_med@mail.ru

Konstantinov Dmitry V. – Ph.D., Specialist of International Affairs Office, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia. E-mail: const_dimon@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of numerical simulation of the stress-strain state that occurs in the tool during drawing a hexagonal rod by “hexagon-hexagon” scheme. The aim of the work was to study the influence of the angle of the working zone of the drawing tool and the magnitude of a single deformation on the contact stresses arising in the tool, the stress intensity, and the magnitude of elastic deformation. Finite element modeling in the Abaqus software package was chosen as the method used. The novelty of the results is in obtaining unique data on the localization of stresses in the body of a drawing tool for a specific type of long metal products. As a result of the analysis, it was found that a decrease in the angle of the working area of the drawing tool leads to the localization of contact stresses in the region of the hexagon vertices, as well as to an increase in stress intensity. For this reason, from the point of view of increasing tool lifecycle, the drawing of hexagonal profiles should be carried out at increased angles of the working area of the die. The use of increased angles will lead to a decrease in the length of the working area of the die, which in turn will favorably affect the friction conditions in the deformation zone. It has also been established that a decrease in the value of a single strain creates more favorable conditions for the stress-strain state of the tool, namely, it leads to a decrease in the negative effect of contact stresses.

Key words: drawing, steel rods, stress-strain state, tool, finite element modeling.

Ссылка на статью:

К анализу напряжённо-деформированного состояния инструмента при волочении шестигранного профиля / Л.М. Тухветова, А.Ю. Столяров, А.Г. Корчунов, Е.М. Огнева, Д.В. Константинов // Теория и технология металлургического производства. 2023. №1(44). С. 34-38.
Tukhvetova L.M., Stolyarov A.Yu., Korchunov A.G., Ogneva E.M., Konstantinov D.V. Analysis of the stress-strain state of the tool during hexagonal profile drawing. *Teoria i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva*. [The theory and process engineering of metallurgical production]. 2023, vol. 44, no. 1, pp. 34-38.