

УДК 621.7.043

Исследование возможности получения конической трубной резьбы раздачей

Евсюков С. А.^{1,*}, Алимов А. И.¹,
Небогов С. М.², Семенов К. А.¹

[*mt6evs@yandex.ru](mailto:mt6evs@yandex.ru)

¹МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

²ООО «ЧТПЗ-Инжиниринг», Москва, Россия

В статье рассмотрены возможные технологии изготовления наружной конической трубной резьбы посредством расширения конца трубы, помещенного в закрытый резьбовой калибр (матрицу), коническим пуансоном.

Для исследования процесса формообразования трубной резьбы было использовано компьютерное моделирование в программном комплексе DEFORM. Было рассмотрено влияние исходной геометрии заготовки и инструмента на процесс заполнения резьбового профиля. Сделано это было как для технологической схемы, в которой на матрице имеется препятствующий вытеканию металла ограничительный упор, так и для схемы без упора.

Рассмотрено также напряженное состояние, возникающее в матрице и в пуансоне при заполнении резьбового профиля.

Ключевые слова: присоединительная резьба, формообразование, заполнение профиля, напряженное состояние, программный комплекс, DEFORM

Введение

Добыча нефти и газа в России — один из основных источников бюджета. Добыча углеводородов через нефтяную скважину, как правило, осуществляется с помощью насосов — путём искусственного создания повышенного давления в пластах. Такая скважина представляет собой сложное техническое сооружение с основой в виде колонны насосно-компрессорных труб (НКТ), соединенных посредством резьбы. Опыт эксплуатации скважин показал, что присоединительная резьба — слабое место НКТ.

Сейчас резьбу получают с помощью технологии резания. Резьба, полученная таким способом, имеет низкие механические характеристики. Также ее изготовление достаточно трудоемко и сопровождается отходом металла в стружку. В связи с этим для ответственных деталей, качество и прочность резьбы в которых определяют надёжность и работо-

способность детали в целом, предпочтительно изготовлять резьбу методом обработки давлением (накаткой).

Резьба, полученная пластическим деформированием, имеет повышенные механические характеристики, высокую износостойкость, а отсутствие перерезывания волокон и концентраторов напряжений повышает надёжность и работоспособность деталей.

Попытки изготовить резьбу на трубах методом накатки не дали положительных результатов ввиду особенностей конструкции. Под действием значительных сил накатки стенка трубы теряет устойчивость и деформируется [1]. Поэтому требуется разработать метод получения резьбы на трубах пластическим деформированием, отличным от накатки. В качестве такого метода в данной статье рассмотрен метод получения резьбы раздачей трубной заготовки.

Очаг деформации при формообразовании резьбы является локальным, сосредоточенным в области формирования рельефа. Исследование подобного очага пластической деформации аналитическими методами весьма затруднительно. Поэтому в качестве инструмента анализа был выбран метод математического моделирования в программном комплексе DEFORM.

Цель работы — исследовать возможность полного заполнения профиля резьбовой матрицы при раздаче помещенной в нее трубы коническим пуансоном.

Научная новизна состоит в выявленных закономерностях процесса пластического деформирования заготовки при формировании профиля конической резьбы на трубе в процессе ее раздачи коническим пуансоном.

Постановка задачи

Получение конической трубной резьбы раздачей осуществляется следующим образом: разъемная матрица с резьбовым рельефом охватывает трубу (трубную заготовку) снаружи, после чего внутри трубы начинает продвигаться конический пуансон, постепенно раздвигая стенки и вдавливая металл в резьбовой рельеф (рис.1). На начальной стадии деформации происходит выборка зазора между металлом заготовки и витками резьбовой матрицы. По мере продвижения пуансона и раздачи трубной заготовки металл начинает затекать во впадины резьбы. При этом перемещение трубы как единого целого вдоль оси принудительно ограничивают. После завершения цикла деформирования конический пуансон извлекается, резьбовая матрица раскрывается и готовая труба с резьбовым профилем удаляется. Далее цикл повторяется для следующей трубы. Если в качестве заготовки использовать неподготовленную трубу, то описанная выше схема получения резьбы при-

емлема только для цилиндрических резьб. Для получения конической резьбы на конце трубы необходимо иметь контур, образующая которого не будет касаться рельефа резьбовой матрицы вплоть до ее смыкания. Осуществить профилирование конца трубы можно, например, с помощью операции обжима конической матрицей. Закономерности операции обжима хорошо изучены в области обработки давлением (см. например [2-10]). Поэтому в данной статье рассматривается формоизменение заготовок, уже имеющих необходимое исходное профилирование без указания способа его получения.

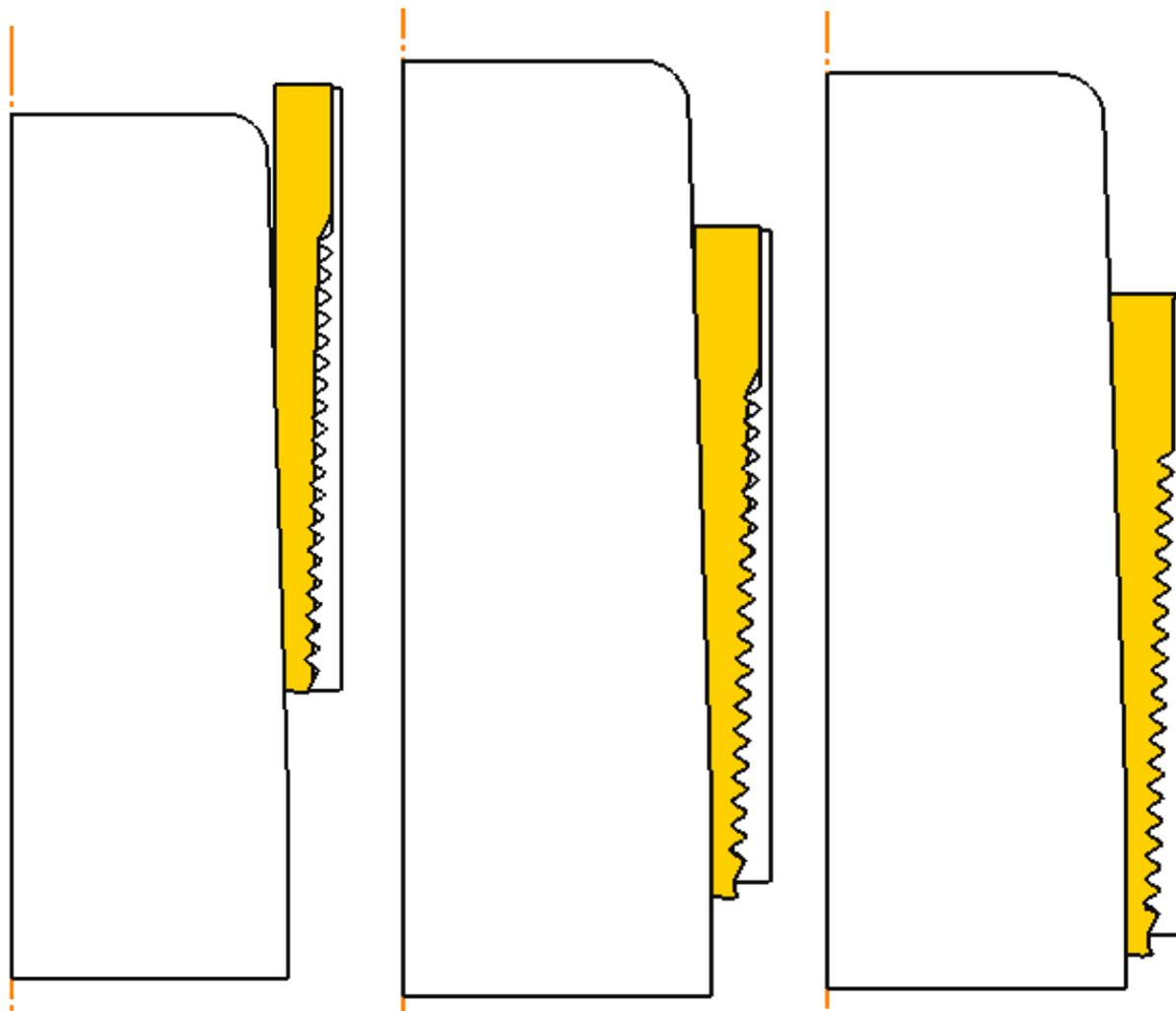


Рис.1. Последовательность заполнения профиля резьбы при раздате

Пуансон с конусностью 1:32, радиус галтели 5 мм, длина конической части 80 мм.

Методы исследования

Исследование возможности полного заполнения профиля трубной резьбы посредством ее раздачи коническим пуансоном проводилось посредством математического моделирования в программном комплексе DEFORM.

Процесс моделирования в программном комплексе DEFORM во многом автоматизирован, но перед его началом требуется введение геометрии инструмента и заготовки, а также реологических свойств используемых материалов и других данных. Свойства задаются через окна программы. Этих свойств достаточно много. Приведем перечень основных допущений, которые были использованы при моделировании:

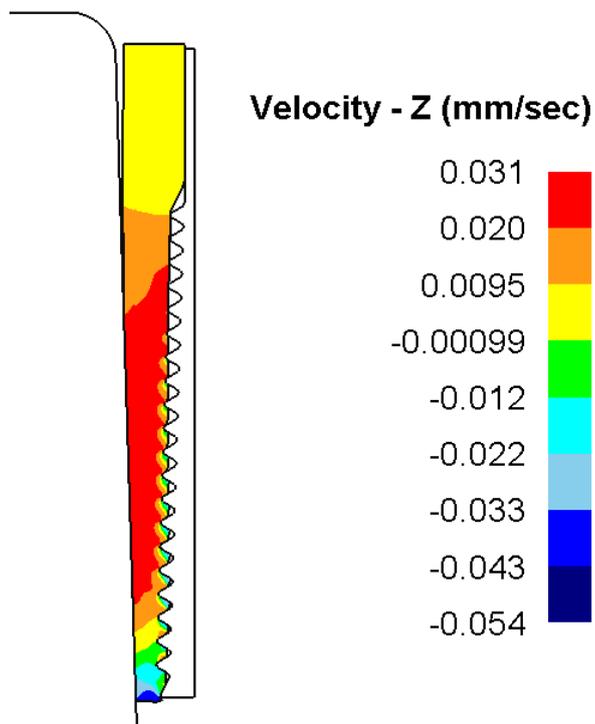
- материал заготовки – вязко-пластичный;
- материал инструмента – жесткий;
- материал заготовки сплошной, изотропный, однородный;
- материал заготовки: AISI 1035, аналог стали 30ХМА;
- температурная задача не решалась;
- трение задавалось по закону Прандтля-Зибеля с фактором трения 0,3;
- резьба заменена кольцевыми канавками аналогичного профиля;
- задача считалась осесимметричной.

Результаты моделирования

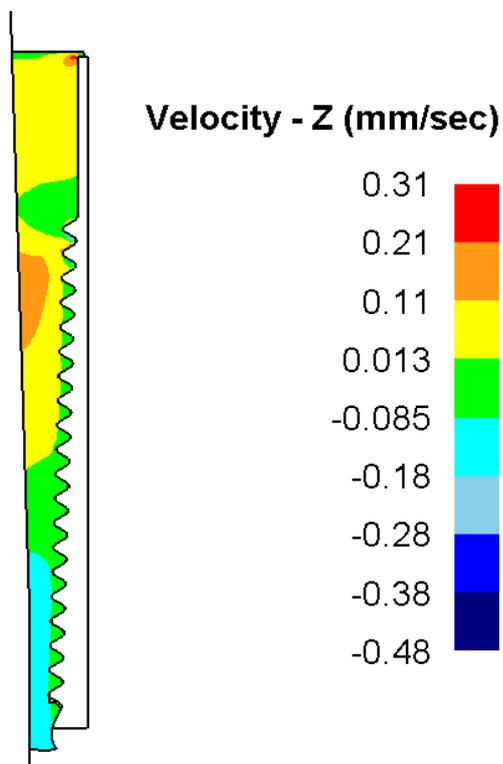
Очевидно, что процесс получения профиля резьбы будет в значительной мере зависеть от соотношения размеров заготовки и инструмента. Определить их приемлемое соотношение заранее практически невозможно. Приходится использовать метод последовательных итераций. Ниже приведены результаты моделирования получения наружной трубной резьбы при различных значениях варьируемых параметров (размеры инструмента, размеры заготовки и ее начальное положение относительно инструмента).

Последовательность заполнения профиля резьбы при моделировании процесса формовки конической резьбы диаметром 73 мм на профилированной заготовке представлена на рис. 1. При этом пуансон имеет конусность 1:32, радиус галтели 5 мм, а длину конической части — 80 мм. Поскольку материал матрицы был принят жестким, и распределение напряжений в матрице на этом этапе не определялось, ее толщина для удобства была принята незначительной (существенно меньше реальной). Как следует из рисунка 1, заполнение профиля резьбы начинается с крайних витков и заканчивается наиболее удаленными от края. При этом уже в начале процесса металл начинает вытекать в зазор между пуансоном и матрицей навстречу движению пуансона. Также наблюдается осевое течение металла и в противоположную сторону (в направлении, совпадающим с движением пуансона). Наиболее наглядно это можно проследить по полученному в результате моделирования распределению осевых скоростей частиц материала заготовки и их осевом перемещении.

Поля распределения осевых скоростей частиц материала заготовки в начальный и конечный моменты деформации представлены на рис. 2.



а



б

Рис.2. Поле осевых скоростей в начале (а) и в конце (б) деформации

Осевое перемещение частиц заготовки в конечный момент деформации представлено на рис. 3. Как можно видеть, наибольшее перемещение металла для рассматриваемого случая формоизменения наблюдается в зоне выхода металла в зазор между матрицей и пуансоном. Знак на диаграмме на рис.3 указывает на направление перемещения частиц. В зоне собственно профиля резьбы и на участках, к нему прилегающих, осевое перемещение частиц материала существенно меньше. Что можно объяснить тормозящим действием резьбового профиля.

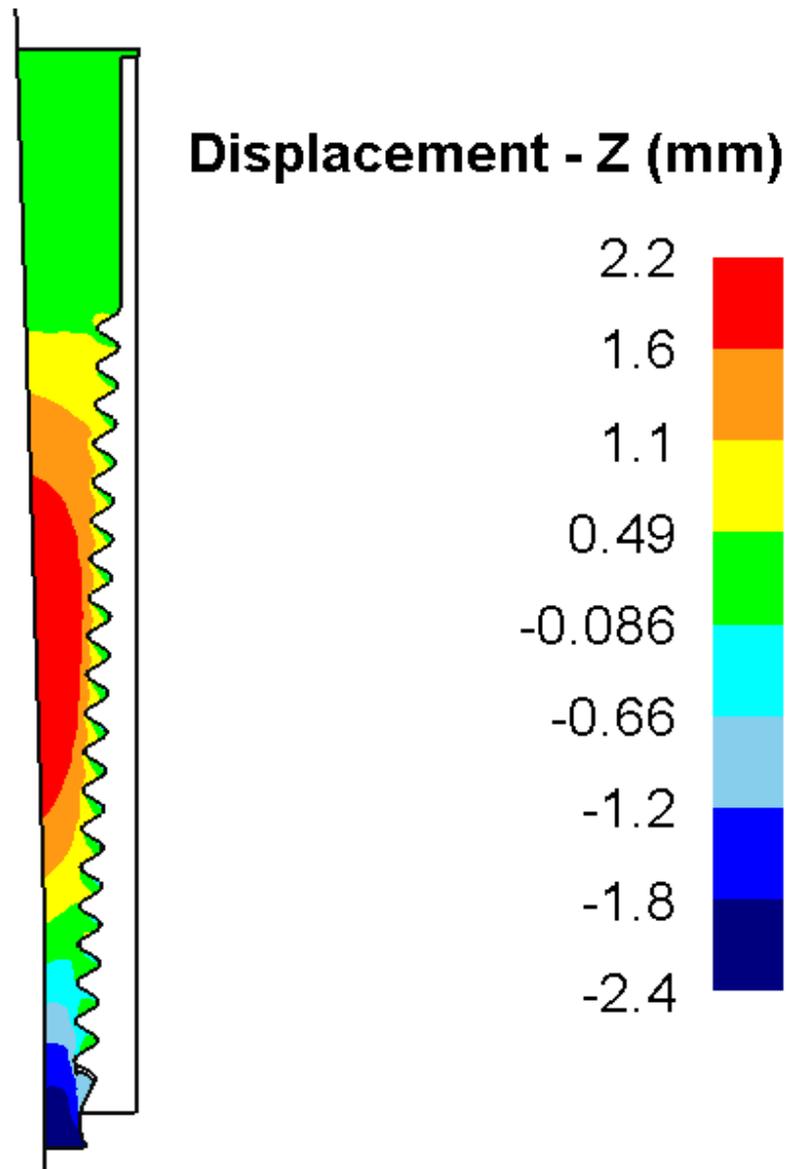


Рис. 3. Осевое перемещение частиц в конечный момент деформации

Что же касается накопленных деформаций, то их наибольшие значения, как это следует из рис.4, будут иметь частицы заготовки, расположенные непосредственно в зоне формирования резьбы.

Strain - Total - Von Mises (mm/mm)

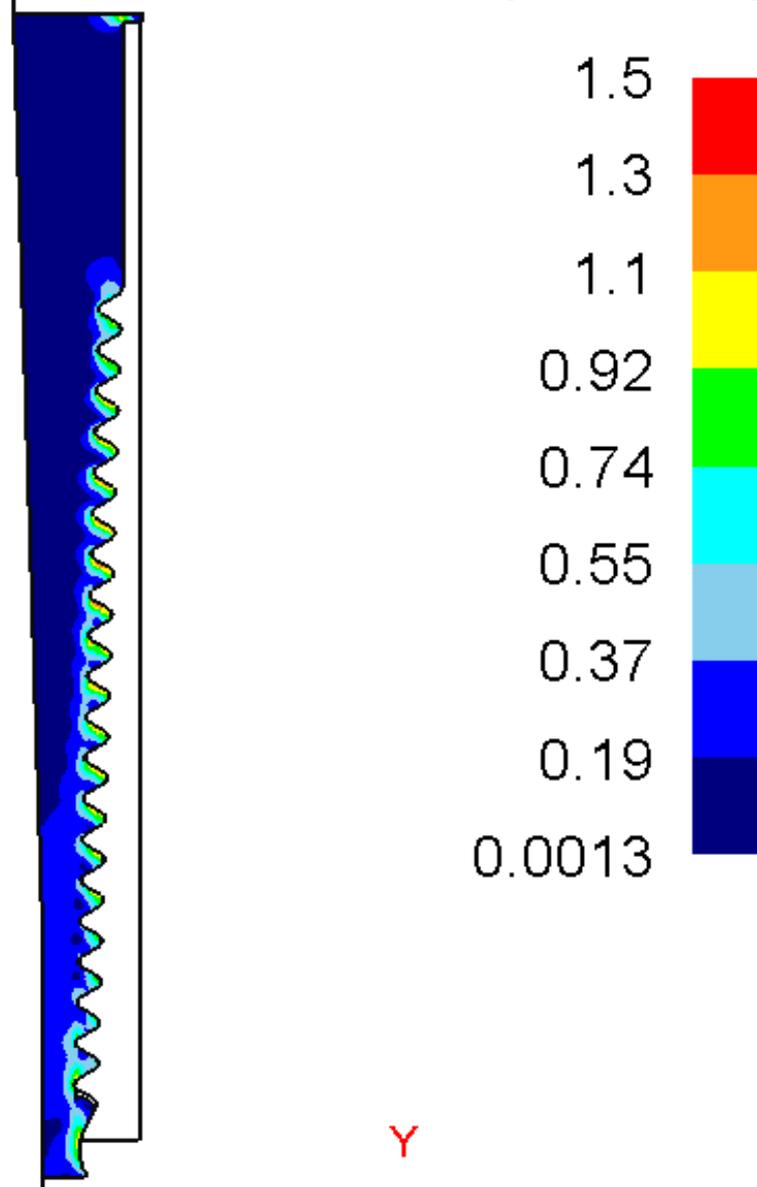


Рис. 4. Распределение накопленных деформаций

Наглядное представление о характере деформаций дает сетка лагранжевых линий, которая представлена рис. 5.

Обратим внимание на то, что в нижней части очага деформации (рис.5) наблюдается вытекание достаточно большого объема металла. И, как следствие, искривление лагранжевых линий (линий лагранжевой системы координат) в зоне резьбового рельефа, особенно у крайних витков. Это создает опасность ослабления прочностных свойств материала и резьбового соединения. При этом, как хорошо видно на рис.5, крайний виток резьбы остался несформированным. Избежать этого можно, изменив соотношение объемов металла

в различных частях заготовки. Для определения этого соотношения проводилось моделирование с постепенным уменьшением объема заготовки в зоне деформирования путем профилирования контура трубной заготовки. Приведем несколько примеров анализа формоизменения с различным сочетанием технологических параметров.

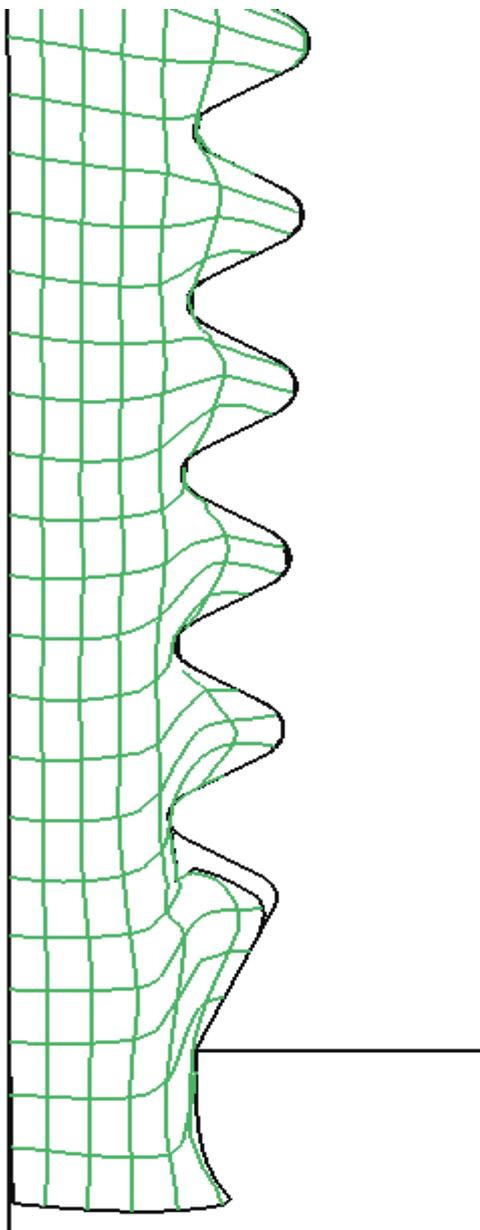


Рис. 5. Лагранжевые линии в зоне резбового рельефа и краевой дефект

Начальное, конечное и промежуточные положения инструмента при моделировании процесса формовки резьбы на профильной заготовке представлены на рисунке 6.

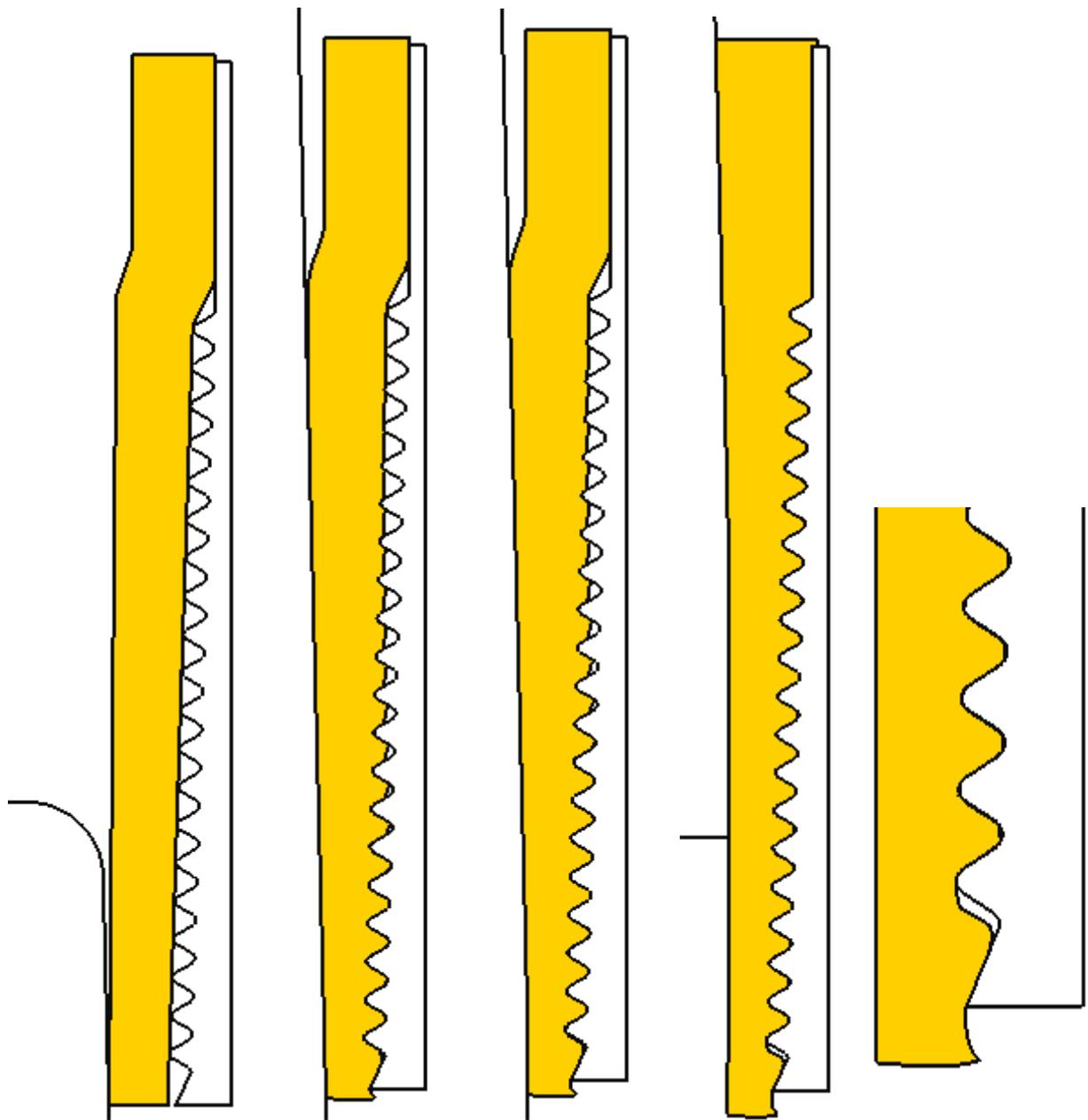


Рис. 6. Последовательность оформления контура резьбы на предварительно профилированной заготовке. Конусность заготовки 1:100, наружный диаметр цилиндрической части 73 мм, толщина стенки 5,5 мм, длина конической части 55 мм (по внутренней поверхности)

В этом случае была изменена начальная форма заготовки. Параметры инструмента при этом не менялись. Конусность заготовки составляла 1:100, наружный диаметр цилиндрической части равнялся 73 мм, толщина стенки - 5,5 мм, длина конической части - 55 мм (по внутренней поверхности). На этом рисунке наглядно видна последовательность заполнения профиля резьбы. Однако, как это видно на рисунке 6, нижний виток по-прежнему остался заполненным не полностью.

Для обеспечения полного заполнения профиля резьбы добавили упор, ограничивающий вытекание металла в зазор между пуансоном и матрицей. Зазор между упором и пу-

ансоном составлял 0,5 мм на сторону. Размеры инструмента не изменяли. Последовательность заполнения матрицы в этом случае такая же, как последовательность, представленная на рис.6. Краевая часть заготовки в увеличенном масштабе с линиями лагранжа для этого случая представлена рис.7. В этом случае наблюдается полное заполнение профиля резьбы, однако присутствует заусенец и имеется небольшое смещение металла вдоль оси заготовки, что подтверждается искажением лагранжевых линий (рис.7).

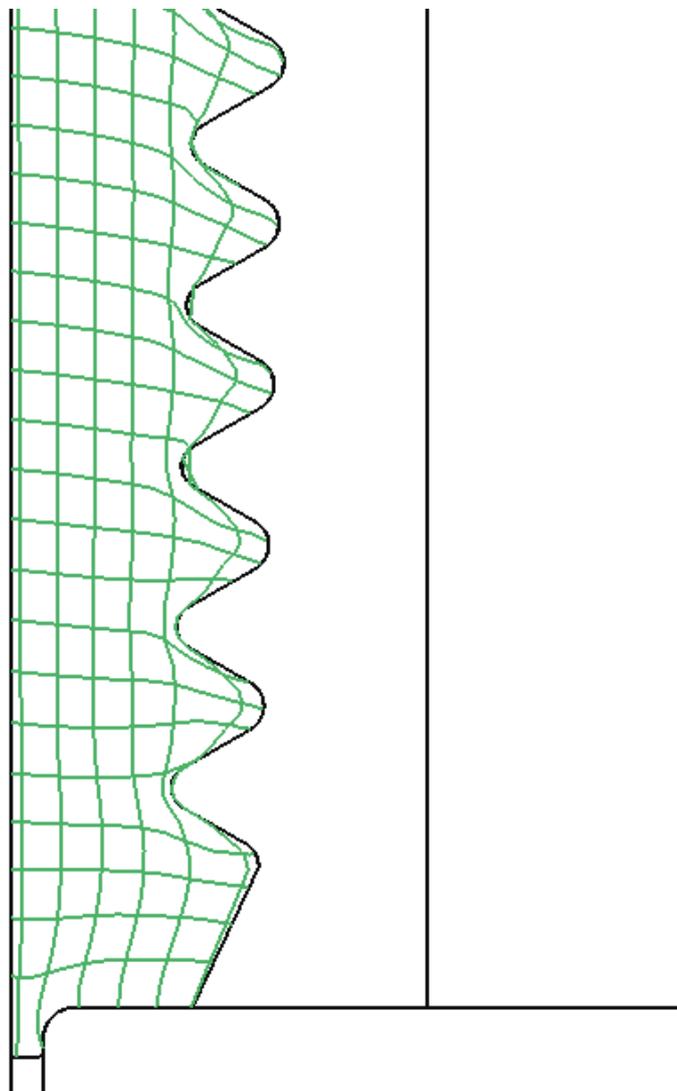


Рис. 7. Лагранжевые линии при штамповке с упором

При дальнейшем совершенствовании процесса деформирования форму заготовки оставили без изменения, а конусность пуансона изменили на 1:80.

Последовательность заполнения матрицы в этом случае такая же, как последовательность, представленная на рис.6. В этом случае наблюдается полное заполнение профиля резьбы и небольшой заусенец. При этом, что особенно важно, искривление лагран-

жевых линий на границе резьбового профиля и основного металла весьма незначительно (рис. 8) Это позволяет надеяться на высокую прочность резьбового соединения.

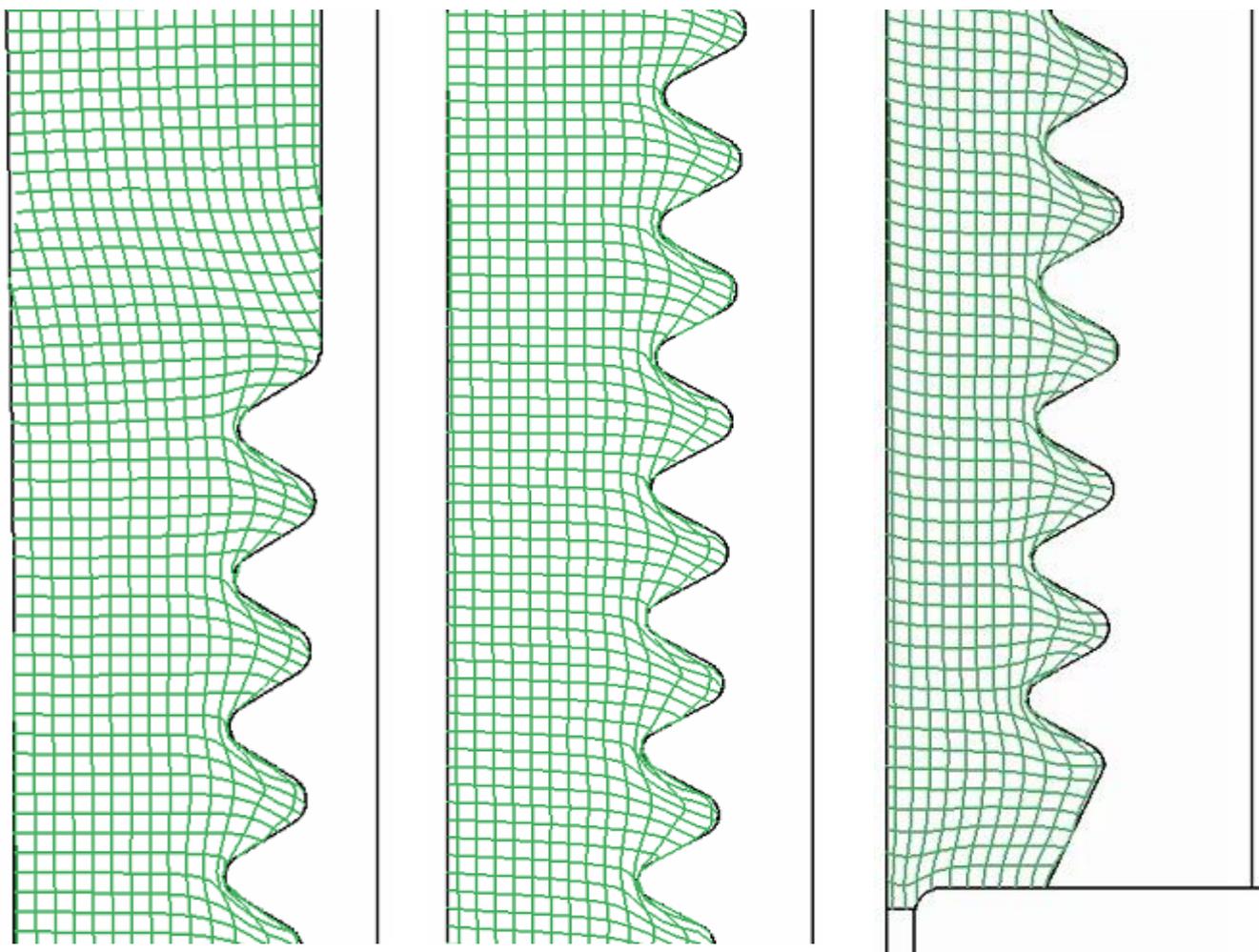


Рис. 8. Сетка лагранжевых линий в различных частях заготовки

Интенсивность напряжений, возникающих в матрице и на пуансоне, в конечный момент деформации для этого случая представлены на рис. 9.

Интенсивность напряжений, возникающих в матрице в конечный момент деформации в увеличенном масштабе, можно проанализировать по рис.10. Как следует из этого рисунка, наибольшие напряжения возникают во впадинах резьбовой части матрицы. При этом их абсолютная величина не превышает 470 МПа, что вполне допустимо для материалов, используемых при изготовлении штампов.

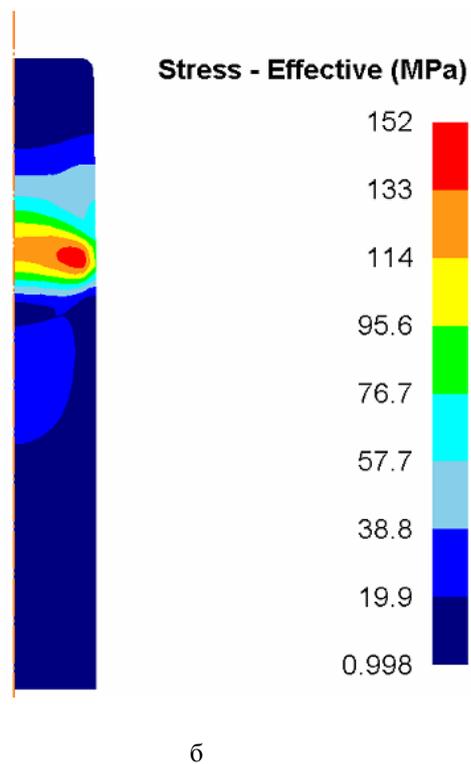
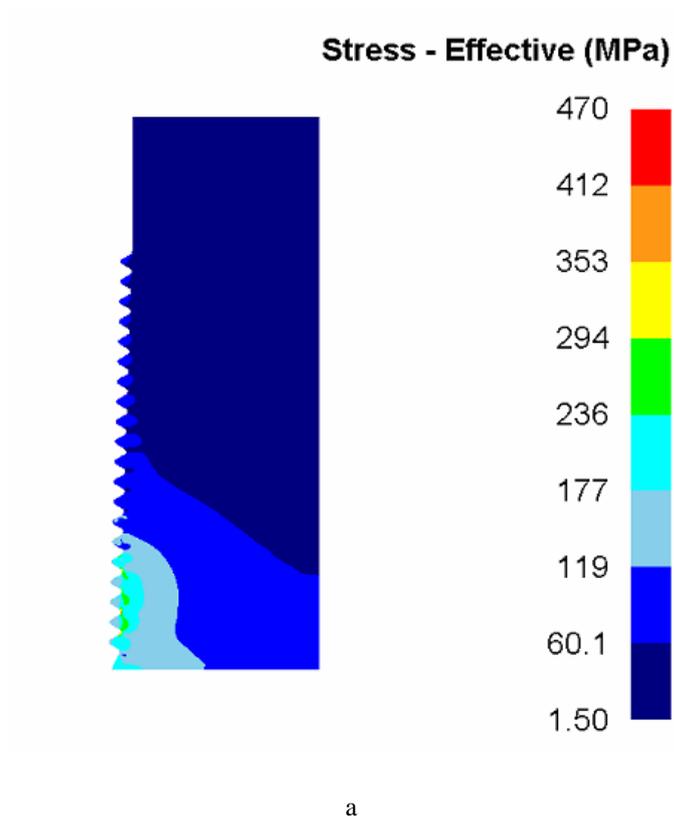


Рис.9. Интенсивность напряжений в матрице (а) и в пуансоне (б) в конечный момент деформации.

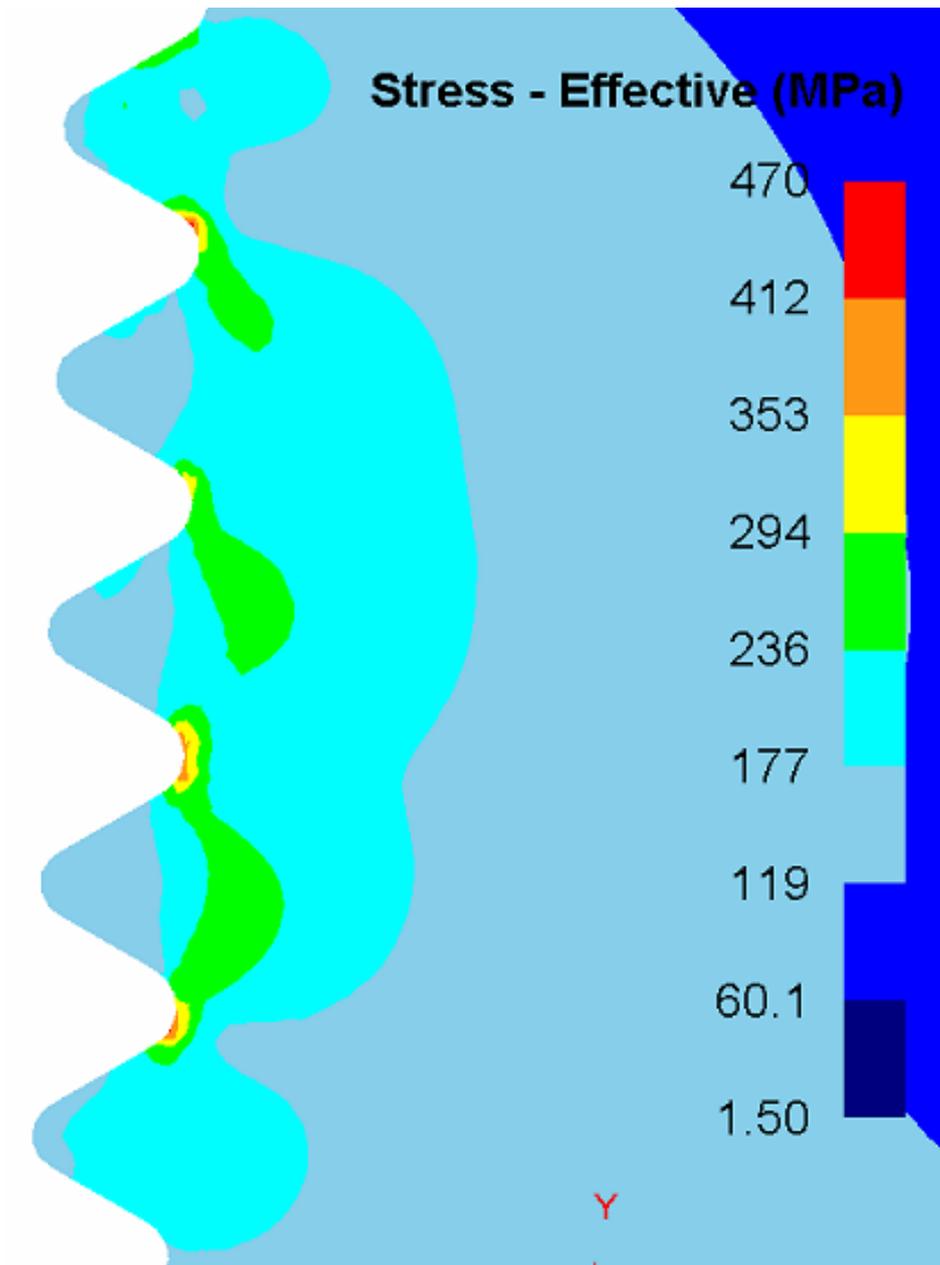


Рис.10. Интенсивность напряжений в матрице в конечный момент деформации

Заключение

В результате исследований была доказана принципиальная возможность получения наружной, конической трубной резьбы раздачей коническим пуансоном. Моделирование позволило получить информацию о напряженно-деформированном состоянии заготовки, о характере течения металла во время деформации и силовых параметрах процесса. Анализ формоизменения заготовки во время деформации дал возможность также оценить качество получаемого изделия с точки зрения эффективности заполнения резьбовой матрицы металлом. Было установлено, что заполнение канавок матрицы происходит последовательно по мере продвижения пуансона с постепенным увеличением степени заполнения в каждой нитке резьбы. Также было установлено, что при штамповке резьбы без ограничи-

тельного упора уменьшаются все энергетические и силовые параметры процесса. Однако при штамповке без подпора возможно незаполнение крайних витков резьбовой матрицы. Следовательно, следует или штамповать с применением упора, или увеличивать число ниток резьбы на единицу, но это требует более детальной проработки.

Статья написана при поддержке выделенной государственной субсидии по Соглашению № 14.576.21.0030 от 30 июня 2014 г. с Минобрнауки о предоставлении субсидии.

Список литературы

1. Езжев А.С., Лёгких А.Н., Сидоров А.А. Разработка технологического процесса формообразования резьбы методом пластического деформирования с использованием программного комплекса DEFORM // Прикладные исследования в механике: труды конференции «Инженерные системы 2007». М., 2007. С. 300-315.
2. Евсюков С.А. Илинич Д.А., Кондратенко В.Г. и др. Штамповка деталей типа конических переходников // Кузнечно-штамповочное производство. 1985. № 4. С. 14-15.
3. Афанасенко С.В., Кондратенко В.Г., Евсюков С.А. Штамповка полых конических деталей в единичном и мелкосерийном производстве // Кузнечно-штамповочное производство. 1987. № 4. С. 18-19.
4. Евсюков С.А., Бочаров Ю.А., Суворов А.П. Совмещение операций обжима и раздачи // Известия вузов. Машиностроение. 1992. № 10-12. С. 106-110.
5. Евсюков С.А. Обжим-раздача цилиндрических трубных обечаек в условиях горячей деформации // Известия вузов. Машиностроение. 1994. № 7-9. С. 126-130.
6. Евсюков С.А. Штамповка конических переходников // Кузнечно-штамповочное производство. 1994. № 12. С. 8-12.
7. Евсюков С.А. Определение высоты заготовки для штамповки конических переходников // Известия вузов. Машиностроение. 1995. № 7-9. С. 64-69.
8. Евсюков С.А. Влияние напряженного состояния на изменение длины образующей заготовки // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 1996. № 2. С. 94-100.
9. Евсюков С.А., Сулейман А.А. Методика проектирования технологического процесса изготовления деталей с раструбом // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 10. С. 1-8. DOI: [10.7463/1013.0636230](https://doi.org/10.7463/1013.0636230)
10. Евсюков С.А., Сулейман А.А. Исследование совмещенной операции вытяжки с обжимом и раздачей // Наука и образование: МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2013. № 11. С. 17-24. DOI: [10.7463/1113.0636247](https://doi.org/10.7463/1113.0636247)

Study the Possibility for Manufacturing a Conical Pipe Thread by Expansion

S.A. Evsyukov^{1,*}, A.I. Alimov¹, S.M. Nebokov²,
K.A. Semenov¹

[*mt6evs@yandex.ru](mailto:mt6evs@yandex.ru)

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia

²LLC “CPRP-Engineering”, Moscow, Russia

Keywords: connecting thread, shaping, filling profile, voltage, a negative condition, software, DEFORM

The experience of operating oil wells showed that the weak point of tubing is a connecting thread.

Currently, the pipe thread of the specified class is made using the technology of cutting. The process of cutting a thread leads to waste metal chips and cutting fibers. Therefore the idea arose to make a thread by the method of pressure shaping.

The aim was to study the possibility for full filling of the threaded matrix profile.

The study was conducted by means of mathematical modeling in the software complex DEFORM. The impact of technological and geometrical factors on the process of form change was in detail analyzed. Thus, a work-piece material was specified to be continuous, isotropic, homogeneous, viscous-plastic and a tool material was set as a hard one. The friction was specified according to Prandtl-Siebel law with the friction factor of 0.3. The thread profile has been replaced by the annular grooves of the similar profile. The task was considered to be axisymmetric.

Scientific novelty of received results consists in revealed regularities of the plastic deformation process of the work-piece when forming a profile of the conical thread on the pipe in the process of its expansion with a conical punch.

The simulation allowed us to obtain information about the stress-strain state of the work-piece and tool, about the nature of the metal flow during deformation, and about the strength parameters of the process.

In particular, it was found that the work-piece metal is displaced along the pipe axis both in punch movement direction and in the opposite one. Thus, a mechanical end burr is formed. The article shows that to remove a mechanical end burr requires insertion of extra limit stop housing.

The article also analyses distribution of stresses arising in the matrix at the final moment of deformation. It was proved that the highest stresses occur in the hollows of the threaded part of

matrix. Thus, their absolute value does not exceed 470 MPa that is quite acceptable for the materials used in the production of stamps.

Research has been proven a principle possibility to have the external conical pipe thread by expansion with a conical punch.

References

1. Ezzhev A.S., Legkikh A.N., Sidorov A.A. Development of the technological process of forming the threads by the method of plastic deformation using the DEFORM complex software. *Prikladnye issledovaniya v mekhanike: trudy konferentsii "Inzhenernye sistemy 2007"* [Applied research in mechanics: proceedings of the conference "Engineering systems 2007"]. Moscow, 2007, pp. 300-315. (in Russian).
2. Evsyukov S.A., Ilinich D.A., Kondratenko V.G., et al. Stamping parts of conical adapter type. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo = Forging and Stamping Production*, 1985, no. 4, pp. 14-15. (in Russian).
3. Afanasenko S.V., Kondratenko V.G., Evsyukov S.A. Stamping of hollow conical parts in single and small batch production. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo = Forging and Stamping Production*, 1987, no. 4, pp. 18-19. (in Russian).
4. Evsyukov S.A., Bocharov Yu.A., Suvorov A.P. The combination of crimping and expanding operations. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 1992, no. 10-12, pp. 106-110. (in Russian).
5. Evsyukov S.A. Crimping-expanding of cylindrical pipe shells in hot deformation conditions. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 1994, no. 7-9, pp. 126-130. (in Russian).
6. Evsyukov S.A. Stamping of conical adapters. *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo = Forging and Stamping Production*, 1994, no. 12, pp. 8-12. (in Russian).
7. Evsyukov S.A. Determining the height of the workpiece for stamping of conical adapters. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Mashinostroenie = Proceedings of Higher Educational Institutions. Machine Building*, 1995, no. 7-9, pp. 64-69. (in Russian).
8. Evsyukov S.A. Influence of stress state on the change in the length of the generatrix tubular billet. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie = Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering*, 1996, no. 2, pp. 94-100. (in Russian).
9. Evsyukov S.A., Suleyman A.A. A design technique of manufacturing bell-shaped details. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 10, pp. 1-8. DOI: [10.7463/1013.0636230](https://doi.org/10.7463/1013.0636230) (in Russian).

10. Evsyukov S.A., Suleyman A.A. Study of extracting combined with swaging and distribution. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana = Science and Education of the Bauman MSTU*, 2013, no. 11, pp. 17-24. DOI: [10.7463/1113.0636247](https://doi.org/10.7463/1113.0636247) (in Russian).