

МЕТОДИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА ПРИ РАСЧЁТАХ НА ПРОЧНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ В ПРОЦЕССАХ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

УДК 519.688.531.3.539.4
539.3/.6 539/4

РОЗОВ Ю.Г.

д.т.н., проф., Херсонский национальный технический университет

Научные интересы: разработка и исследование ресурсосберегающих технологий в области обработки металлов давлением

ВВЕДЕНИЕ

Проблемы развития отечественного машиностроения в современных условиях неразрывно связаны с освоением новых наукоёмких технологий, обеспечивающих ресурсосбережение, эксплуатационную надёжность и конкурентоспособность продукции. В полной мере это относится к производству высококачественных трубчатых изделий, и в особенности, со сложным профилем внутренней поверхности, производство которых отличается высокой трудоёмкостью. Традиционные методы изготовления таких изделий не обеспечивают в полной мере выполнение этих задач и для их решения требуются новые научно-технические комплексные подходы, в том числе с широким использованием IT-технологий. Наряду с этим, современные методы холодного пластического деформирования, такие как холодное выдавливание, гидроэкструзия, гидростатическое прессование и др., обладают широкими возможностями для получения высококачественных прецизионных деталей со сложным наружным или внутренним профилем.

В настоящее время огромный научный и практический интерес представляет разработка и исследование новых технологий формообразования прецизионных трубчатых заготовок с заданным внутренним профилем, основанных на холодном пластическом деформи-

ровании металлов, обеспечивающих высокое качество изделия и отвечающих строгим требованиям, предъявляемым к проектированию, производству и эксплуатации деталей специального назначения, таких как, так называемая ствольная заготовка, т.е. полуфабрикат для последующего изготовления винторезных стволов для огнестрельного оружия [1-3]. Ствольная заготовка, с точки зрения её геометрии, представляет собой толстостенную трубчатую длинномерную заготовку, получение которой возможно путём выдавливания трубчатой заготовки на оправке. Однако из-за низкой пластичности ствольных сталей (30ХН2МФА, 50РА и др.), традиционное холодное выдавливание не обеспечит необходимой степени деформации без разрушений.

В связи с этим, предложен метод получения высокоточных длинномерных трубчатых изделий с повышенными эксплуатационными свойствами методом гидропрессования на гладкой оправке [4, 5].

Схема гидропрессования трубчатых заготовок с подвижной оправкой, применявшаяся в наших исследованиях, представлена на рис. 1.

Начальное положение, перед выдавливанием, отображено слева, а в процессе – справа от оси симметрии.

Бандажированный контейнер 1 установлен на плиту 5. Трубчатая заготовка 6 позиционируется фаской на кониче-

ской кромке матрицы в контейнере. Далее заливается рабочая жидкость и устанавливается оправка 4. Верхняя коническая часть оправки обеспечивает уплотнение, для исключения протекания жидкости. Сверху оправки устанавливается шток 2 с уплотнением 3.

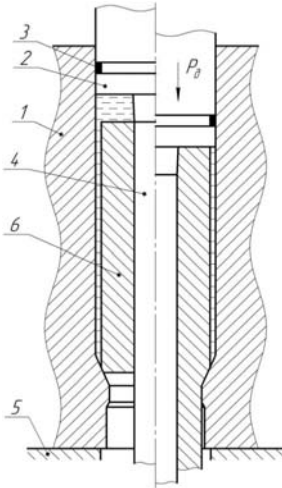


Рис. 1. Схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке

К штоку прикладывается усилие P_d . Во время перемещения штока 2 сначала коническая часть оправки перекрывает отверстие заготовки, а далее рабочая жидкость в контейнере 1 сжимается, создавая гидростатическое давление на свободную поверхность заготовки. Заготовка вместе с оправкой проходит через отверстие в матрице, в результате получаем необходимый внутренний диаметр и чистоту поверхности заготовки.

Данный способ позволяет, как повысить пластичность самого материала, так и получить необходимые физико-механические свойства деформированного материала.

Однако при гидропрессовании малопластичных сталей величина удельных усилий на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом достигает значительных величин, поэтому получение прецизионных трубчатых заготовок данным методом поставило вопрос о прочности и надёжности матрицы в этом процессе.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка методики использования и алгоритма проведения численного анализа, основанного на компьютерном моделировании с использованием метода конечных элементов (МКЭ), в расчётах на прочность технологической оснастки при гидропрессовании длинномерных трубчатых изделий.

Альтернативой аналитическим и физическим экспериментальным методам исследований процессов обработки металлов давлением (ОМД) являются методы имитационного моделирования. Из многообразных методов имитационного моделирования [6] на сегодня наибольшее применение получили модели на основе МКЭ.

В современной литературе о применении МКЭ прослеживаются два направления. Первое – это работы теоретического характера [7, 8], затрагивающие математические аспекты метода. Ко второму направлению относятся работы прикладного характера [9, 10], в которых рассматривается применение МКЭ для решения конкретных инженерных задач.

В настоящее время существует достаточно много специализированных и общинженерных пакетов (программных комплексов) конечно-элементного анализа. В данной работе, для создания компьютерных моделей, использован программный комплекс Deform-3D, ориентированный на моделирование процессов металлообработки методом КЭ. Он является мощным инструментом для решения технологических задач и позволяет совершенствовать и оптимизировать технологические задачи, включая процессы термической и химико-термической обработки, без многократных натурных экспериментов.

Весьма большими возможностями расчёта напряжённо-деформированного состояния (НДС) обладает программный комплекс ANSYS, позволяющий решать краевые задачи практически во всех инженерных приложениях, таких как: механика твёрдого деформированного тела, аэро- и гидромеханика, теплопроводность, специфические трубчатые и оболочечные конструкции и т.п. Современный общинженерный программный комплекс неявного конечно-элементного анализа ANSYS с успехом применяют при решении объёмных квазистатических задач со значительной деформацией и при расчёте силового воздействия на технологическую оснастку.

С учётом вышеизложенного, в данной работе с использованием МКЭ-программ проведено исследование НДС матрицы в процессе гидропрессования при воздействии гидростатического давления, обеспечивающего пластичность заготовки из стали 30ХН2МФА, с использованием программного комплекса DEFORMTM-3D.

Для проведения указанного исследования необходимо было определить величину удельных усилий на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом, а для этого, в свою очередь, проанализировать процесс гидропрессования трубчатых заготовок из стали 30ХН2МФА с подвижной гладкой оправкой. Анализ проводили с помощью МКЭ с использованием программного комплекса DEFORMTM-3D.

Для моделирования были заданы механические свойства металла в исходном состоянии для стали 30ХН2МФА: модуль Юнга $E=2,1 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\nu=0,3$, предел текучести $\sigma_{0,2}=490$ МПа.

Исходя из схемы гидропрессования (см. рис. 1), была составлена расчётная схема процесса. Поскольку данную задачу можно рассматривать как осесимметричную, рассматриваем половину процесса. Расчётная схема приведена на рис. 2.

В контейнер 1 установлена заготовка 3, к которой прикладывается нагрузка штоком с оправкой 2. Раз-

меры исходной заготовки и инструмента показаны на рис. 2.

На свободную поверхность заготовки действует распределённое давление, что позволяет приближённо моделировать действие рабочей жидкости. Для сравнения возможности реализации было проведено моделирование при традиционном выдавливании (без действия гидростатического давления) и в условиях действия гидростатического давления 350 МПа и 750 МПа. В случаях действия гидростатического давления учитывали снятия его в момент перехода свободной поверхности на контактную поверхность с инструментом и при выходе заготовки из матрицы.

По результатам компьютерного моделирования было определено НДС изготавливаемых деталей, необходимое гидростатическое давление, которое обеспечит деформирование в холодном состоянии для стали 30ХН2МФА без разрушений, конечная геометрия изделия, распределение удельных усилий на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом, а также силовые параметры процесса (максимальное усилие процесса гидроэкструзии составило 630 кН в конце рабочего хода). Распределение нормальных контактных напряжений на поверхности заготовки в месте контакта с инструментом показано на рис. 3.

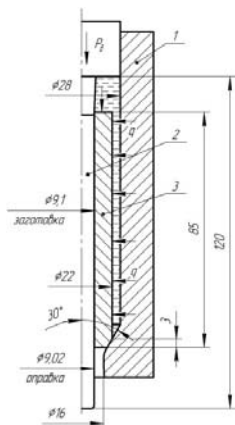


Рис. 2. Расчётная схема гидропрессования трубчатых заготовок на оправке

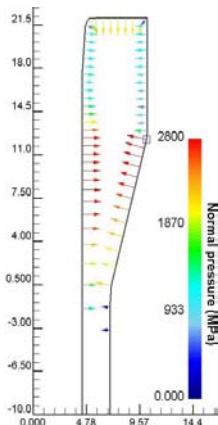


Рис. 3. Распределение нормальных напряжений на контактных поверхностях заготовки с инструментом

Таким образом, максимальные значения нормальных напряжений на инструменте достигли 1600...2250 МПа на конической поверхности матрицы. На оправке же – от 1000 МПа до 1800 МПа.

Поскольку заготовка и матрица являются телами вращения, данную задачу можно рассматривать как осесимметричную.

Расчётная схема процесса для анализа НДС матрицы представлена на рис. 4. В контейнер 1 установлена матрица 2, через которую выдавливается заготовка 4 с оправкой 3. На заготовку 4 и матрицу 2 действует гидростатическое давление q . Оправка 3 вместе с заготовкой 4 движется относительно контейнера 1 вниз.

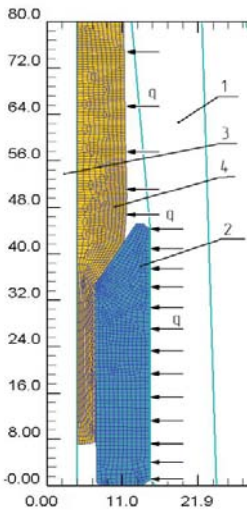


Рис. 4. Расчётная схема процесса для анализа НДС матрицы

Расчёт матрицы проводили в условиях, приближённых к реальным, при максимальных значениях усилия выдавливания P (630 кН) и гидростатического давления q (750 МПа), которое воздействует на матрицу.

Для расчёта матрицы задавали исходные данные: материал матрицы P18, модуль упругости $E=228$ ГПа, предел прочности $\sigma_B=2250$ МПа, твёрдость 66 HRC. Расчёт матрицы проводили в пределах упругих деформаций.

На рис. 5 показано распределение нормальных напряжений на поверхности матрицы. Максимальное значение нормальных напряжений составило 2250...2300 МПа.

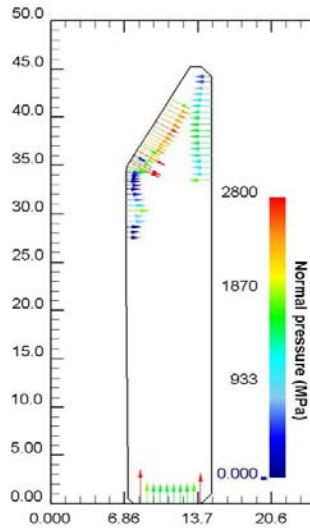


Рис. 5. Распределение нормальных напряжений на поверхности матрицы

Распределения параметров НДС по объёму нагруженной матрицы представлены на рис. 6. Максимальное значение гидростатического давления соста-

вило -1800 МПа в месте перехода конической части матрицы в цилиндрический калибрующий пояс.

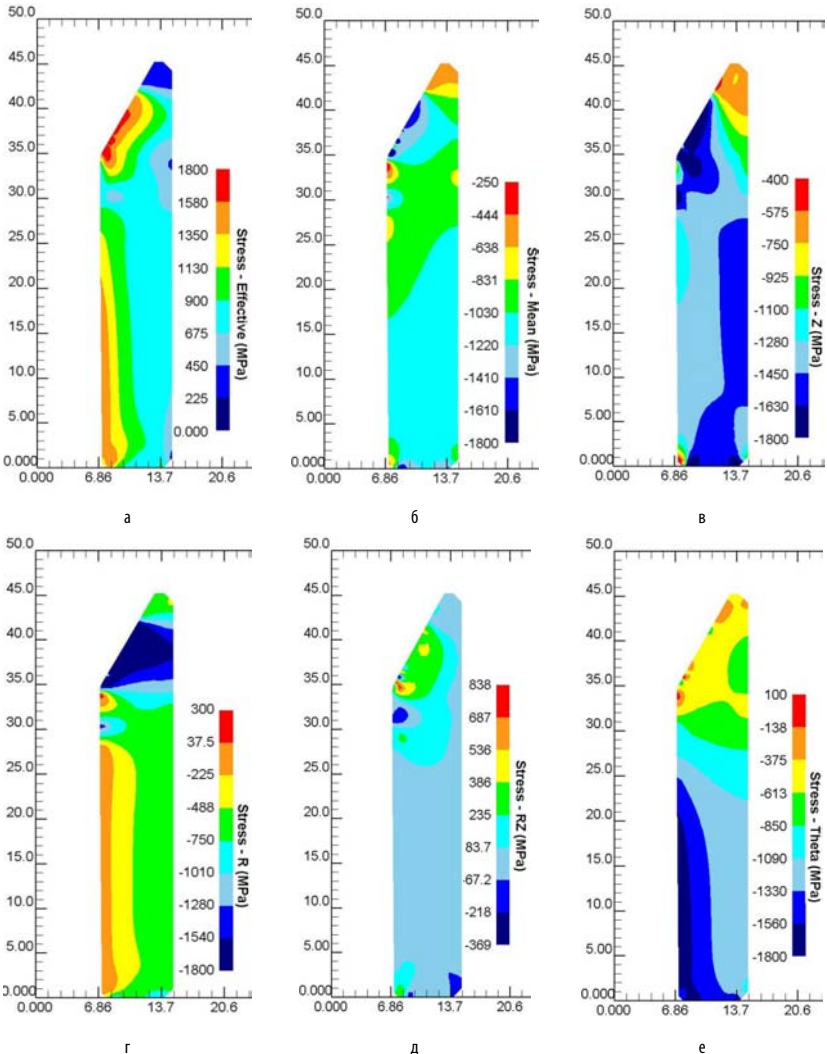


Рис. 6. Распределение параметров НДС в объёме матрицы в нагруженном состоянии:

а – распределение интенсивности напряжений σ_i ; б – распределение гидростатического давления; в – распределение компоненты напряжения σ_z ; г – распределение компоненты напряжения σ_r ; д – распределение компоненты напряжения σ_{rz} ; е – распределение компоненты напряжения $\sigma_{\theta z}$

Таким образом, учитывая величину гидростатического давления (750 МПа), был сделан вывод о достаточной прочности и надёжности матрицы при получении прецизионных трубчатых заготовок гидропрессованием с подвижной гладкой оправкой. Последующая экспериментальная проверка подтвердила достоверность полученных результатов.

ВЫВОДЫ

Разработаны методика и алгоритм проведения численного анализа, основанного на компьютерном моде-

лировании с использованием МКЭ, в расчётах на прочность технологической оснастки при гидропрессовании длинномерных трубчатых изделий.

Достоверность полученных с использованием МКЭ результатов была подтверждена аналитическим расчётом и натурными экспериментами.

Разработанная методика может быть использована для расчётов на прочность технологической оснастки при проектировании процессов обработки металлов давлением.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ:

1. Rozov Ju. G. Tehnologii izgotovlenija precizionnyh trubchatyh izdelij holodnym plasticheskim deformirovanjem: monografija / Ju. G. Rozov. – Herson : lzd-vo HNTU, 2013. – 336 s.
2. Rozov Ju. G. Sovershenstvovanie konstruktivnyh i tehnologicheskikh parametrov izgotovlenija trubchatyh izdelij s profilirovannoju vnutrennej poverhnost'ju / Ju. G. Rozov // Obrabotka materialov davleniem : sb. nauch. tr. – Kramatorsk : DGMА, 2014. – № 1 (38). – S. 77–83.
3. Rozov Ju. G. Razvitie metodov raschjotov i sovershenstvovanie konstruktivnyh i tehnologicheskikh parametrov izgotovlenija trubchatyh izdelij s profilirovannoju vnutrennej poverhnost'ju / Ju. G. Rozov // Vestnik NTU «HPI». – Har'kov, 2014. – № 43 (1086). – S. 137–143.
4. Rozov Ju. G. Issledovanie processa gidrojekstruzii trubchatoj zagotovki na profil'noj opravke metodom komp'yuternogo modelirovanija / Ju. G. Rozov // Kuznechno-shtampovnochnoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem. – 2013. – № 12. – S. 21–25.
5. Rozov Ju. G. Konechno-jelementnoe modelirovanie gidrojekstruzii precizionnyh trubchatyh izdelij s zadannym vnutrennim profilem / Ju. G. Rozov // Intellektual'nye sistemy prinjatija reshenij i problemy vychislitel'nogo intelekta (ISDMCI'2013) : sb. nauch. trud. mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii, 20–23 maja 2013 g., Evpatorija, Ukraina. – S. 267–269.
6. Buslenko N. P. Modelirovanie slozhnyh sistem / N. P. Buslenko. – M. : Nauka, 1968. – 368 s.
7. Konnor Dzh. Metod konechnyh jelementov v mehanike zhidkosti : per. s angl. / Dzh. Konnor, K. Brebbia ; red. V. A. Postnov. – L. : Sudostroenie, 1979. – 260 s.
8. Mitchell Je. Metod konechnyh jelementov dlja uravnenij s chastnymi proizvodnymi : per. s angl. / Je. Mitchell, R. Ujejt ; red. N. I. Janenko. – M. : Mir. 1981. – 214 s.
9. Morozov E. M. Metod konechnyh jelementov v mehanike razrushenija / E. M. Morozov, G. P. Nikishkov. – M. : Nauka, 1980. – 254 s.
10. Postnov V. A. Metod konechnyh jelementov v raschjotah sudovyh konstrukcij / V. A. Postnov, I. Ja. Harhurim. – L. : Sudostroenie, 1974. – 344 s.

Рецензент: д.т.н., проф. Ходаков В.Е.
Херсонский национальный технический университет