

УДК 627.77.01

ВЛИЯНИЕ ПРОТИВОДАВЛЕНИЯ ПРИ ПРЯМОМ ПРЕССОВАНИИ ПРУТКОВ

© 2019 В.Р. Каргин, Б.В. Каргин, А.А. Махкамов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва

Статья поступила в редакцию 11.04.2019

Проведено компьютерное моделирование процесса прессования круглых прутков с противодействием и без противодействия в программном комплексе Deform 2D/3D. Установлено, что при горячем прессовании прутка из высокопрочного алюминиевого сплава Д16 с противодействием в сравнении с горячим прессованием без противодействия выявлено повышение гидростатического давления, продольных, окружных и радиальных нормальных напряжений, касательных напряжений и как следствие интенсивности напряжений. Существенно увеличиваются границы изменения продольных, окружных, радиальных и угловых деформаций, что связано с повышением пластичности деформируемого материала, вызванного ростом гидростатического давления. Противодействие при выходе прутка из канала матрицы изменяет характер распределения окружных, радиальных и продольных напряжений по всему сечению прутка. Величина продольных растягивающих напряжений в поверхностных слоях прутка на 31% меньше, чем при прессовании без противодействия.

Ключевые слова: прессование; прямой метод; круглые прутки; сплав Д16; гидростатическое давление; пластичность металлов, программа DEFORM; моделирование.

DOI: 10.24411/1990-5378-2019-00042

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы появилась потребность в круглых прутках большого диаметра из малопластичных алюминиевых сплавов, используемых в качестве заготовок для изготовления ответственных деталей машиностроения. Такие заготовки можно получить горячим прессованием при малых вытяжках [1, 2]. При изготовлении заготовок методом прессования на поверхности деформируемого прутка при его выходе из канала матрицы могут возникнуть поперечные макротрещины. Наличие поперечных макротрещин, чередующихся по длине пресс-изделия связывают с действием продольных растягивающих напряжений, возникающих на стационарной стадии процесса прессования в окрестности канала матрицы. Один из эффективных способов уменьшения вероятности образования поперечных макротрещин – это прессование с противодействием, обеспечивающее повышение пластичности металла в зоне деформации [3,4]. По литературным данным [5-9] противодействие можно создать путем увеличением длины калибрующего пояса или использования калибрующего пояса с углом торможения, совмещением процессов прессования и волочения, при раздаче трубы после ее выхода из матрицы, при использовании узла противодействия, размещенного на выходе из матрицы.

Величина противодействия при прессова-

нии прутков из малопластичных материалов является мерой качества заготовки и ее прогнозирование на стадии проектирования технологии является актуальной задачей процесса прессования

Цель работы: оценка влияния противодействия на характер распределения напряженно-деформированного состояния в зоне деформации при прямом, горячем прессовании круглого прутка из малопластичного алюминиевого сплава Д16 при малых вытяжках с помощью моделирования в программном продукте DEFORM 2D

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Моделирование горячего прессования с противодействием круглого прутка из высокопрочного алюминиевого сплава Д16 без смазки реализовано средствами специализированного пакета программы DEFORM-2D на базе метода конечных элементов [10]. При моделировании процесса прессования исключена стадия распрессовки слитка при размещении его в контейнер пресса. В связи с этим использован ступенчатый слиток 2 с диаметрами $\varnothing 270$ мм и $\varnothing 90$ мм, равными диаметру контейнера 1 и канала матрицы 4. Коэффициент вытяжки скорость прессования 1 мм/сек. Противодействие, создаваемое упором 5 при выходе готового прутка из канала матрицы 4, составляет $Q = 10$ МПа. Число конечных элементов в заготовке 3000. Коэффициент трения по закону Зибеля на контактных поверхностях «контейнер-слиток», «матрица-слиток», «пресс-шайба-слиток» взят максимальным и равным 0,57. Материал пресс-

Каргин Владимир Родионович, доктор технических наук, профессор. E-mail: vrkargin@mail.ru

Каргин Борис Владимирович, доцент.

E-mail: Kargin163@gmail.com

Махкамов Афзал Атхамович, студент.

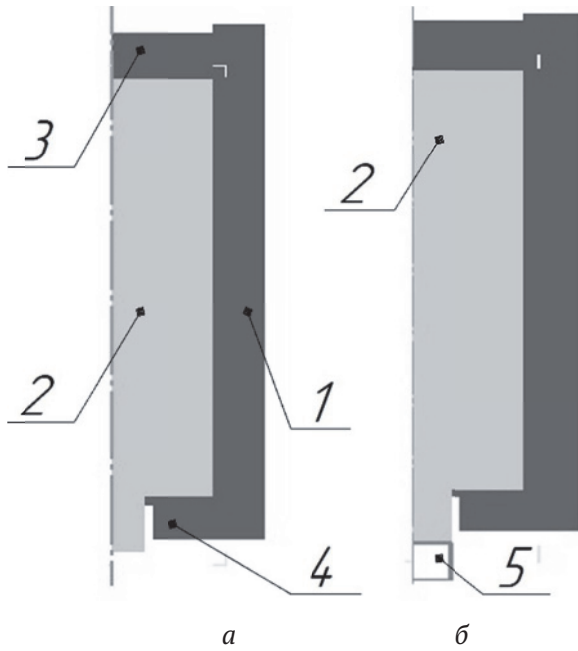


Рис. 1. Компьютерные модели прямого прессования прутка:

а – без противодействия; б – с противодействием;
 1 – контейнер; 2 – слиток; 3 – пресс-шайба;
 4 – матрица; 5 – упор

сового инструмента 4X5МФ1С зарубежный аналог AISI-H-13. При моделировании контейнер и матрица выполнены как единое целое, с числом конечных элементов 1000. Температура нагрева слитка 450 °С, контейнера, матрицы и пресс-шайбы 3 400 °С. Коэффициент теплопередачи 11 кВт/(м² · град). При постановке задачи компьютерного моделирования ее рассматривали как осесимметричную, рис. 1.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

На рис. 2 представлен цветовой график распределения среднего нормального напряжения (гидростатического давления) $\sigma_{cp} = (\sigma_R + \sigma_\theta + \sigma_z)/3$. Из анализа рис. 2а и 2б видно, что характер распределения гидростатического давления в зоне деформации качественно не меняется, кроме зоны, локализо-

ванной около калибрующего пояска матрицы. Минимальная предельная величина σ_{cp} при прессовании прутка с противодействием увеличилась на величину противодействия 10 МПа по сравнению с прессованием прутка без противодействия.

Рис. 2. Цветовой график распределения среднего нормального напряжения (Stress-Mean) σ_{cp} в меридиональном сечении заготовки

В ходе компьютерного моделирования параметров напряженно-деформированного состояния процесса прессования, при анализе распределения в зоне деформации около калибрующего пояска минимальных предельных значений продольных σ_z , окружных σ_θ и радиальных σ_R напряжений получены следующие результаты, табл. 1. Продольные и окружные напряжения по абсолютной величине увеличились, радиальные уменьшились, а среднее напряжение возросло на величину противодействия.

Таким образом, при прессовании с противодействием прутка отмечено повышение по абсолютной величине всех основных нормальных напряжений.

На рис. 3. показано распределение касательных напряжений τ_{RZ} в меридиональном сечении слитка при прессовании прутка без противодействия и с противодействием. Касательные напряжения достигают максимальных значений в продольном сечении, проходящем через край калибрующего пояска и плавно уменьшаются в направлении к контейнеру, зеркалу матрицы и оси прессования, где меняют знак. При прессовании с противодействием τ_{RZ} изменилась по положительным значениям с 33,9 МПа до 32 МПа и отрицательным значениям с 30МПа до 32,5 МПа. Заметно увеличилась площадь, занимаемая максимальными касательными напряжениями. Рост величины τ_{RZ} приводит к увеличению интенсивности напряжений σ_i с 59,8 МПа до 65,6 Мпа, рис. 4. Из графиков видно, что интенсивность напряжений плавно увеличивается от пресс-шайбы к матрице, достигая максимальных значений на кромке канала. Рост σ_i в области контакта «заготовки-контейнер»

Таблица 1. Значение минимальных нормальных напряжений сжатия

Напряжение, МПа	Q = 0 МПа	Q = -10 МПа.
σ_z	-222	-234
σ_θ	-201	-212
σ_R	-207	-214
σ_{cp}	-210	-220

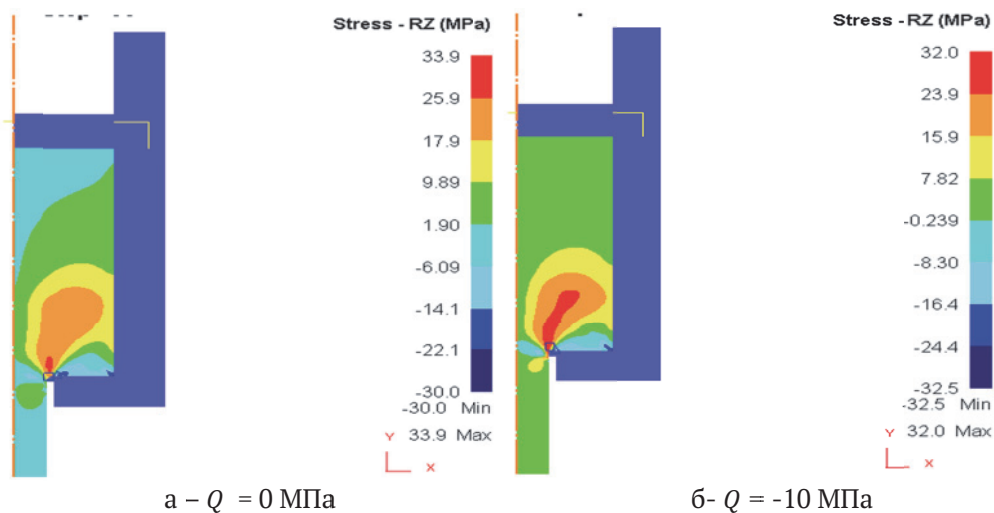


Рис. 3. График распределения касательных напряжений (Stress –RZ)

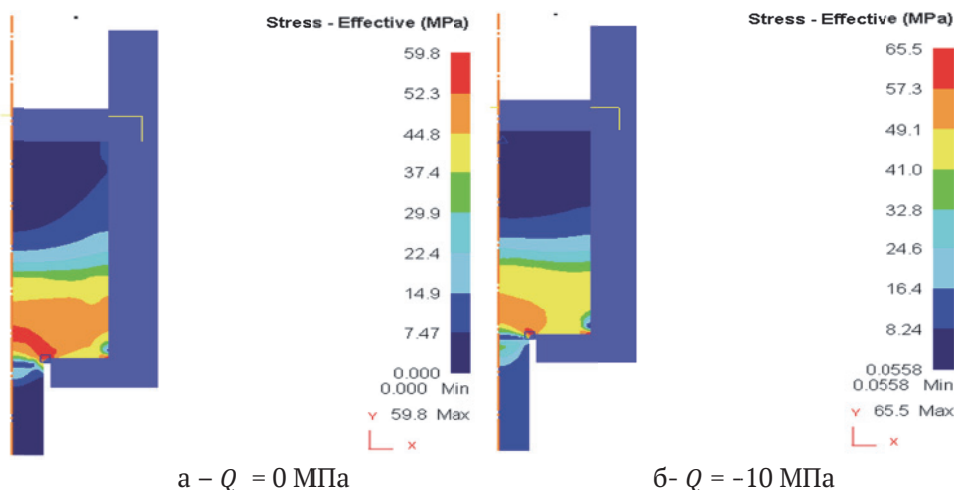


Рис. 4. График распределения интенсивности напряжения (Stress-Effective)

обуславливается из-за действия сил трения. В зоне сопряжения заготовки с матрицей просматривается зона «мертвого» металла (застойная зона). Зона пластической деформации охватывает объем металла заготовки, расположенный на высоте радиуса контейнера от зеркала матрицы. Наибольший градиент изменения σ_i отмечен в области контакта заготовки с контейнером.

На рисунке 5 - 6 приведены графики распределения полных радиальных ε_R , продольных ε_z , окружных ε_θ , деформаций без противодействия и с противодействием.

Полная радиальная деформация увеличилась по сравнению с прессованием без противодействия по максимальным значениям от 1,52 до 1,65 и минимальным значением от -2,12 до -2,09 и охватывает большие объемные обжимной зоны, рис.5.

Деформация ε_R достигает максимальных значений на стенках матрицы, резко уменьшаясь в зоне выхода деформируемого металла из канала матрицы.

Продольные деформации (рисунок 6) на большей части объема заготовки малы и начи-

нают активно увеличиваться только в обжимной зоне канала матрицы, достигая экстремальных значений в области калибрующего пояска.

Справа от края канала ε_z меняет знак, что связано с замедлением течения металла и формированием упругой зоны в области сопряжения контейнера с матрицей. Противодействие повышает объем металла на матрице, в котором продольные деформации – это деформации укорочения.

Интенсивность накопленных деформаций является интегральной характеристикой деформированного состояния, учитывающая как линейные так и угловые деформации, показывает, что противодействия при прессовании прутка приводит к незначительному уменьшению всех основных деформаций, в том числе и ε_i с 5,53 до 4,33 неравномерности распределения деформации в обжимной зоне (рис. 7).

На рисунке 8 видна разница в прикладываемом усилии для прессования слитка. По графику можно определить, что для прессования заготовки случае (с противодействием), на одну и ту же величину нужно приложить больше усилие на 0,08 тонн.

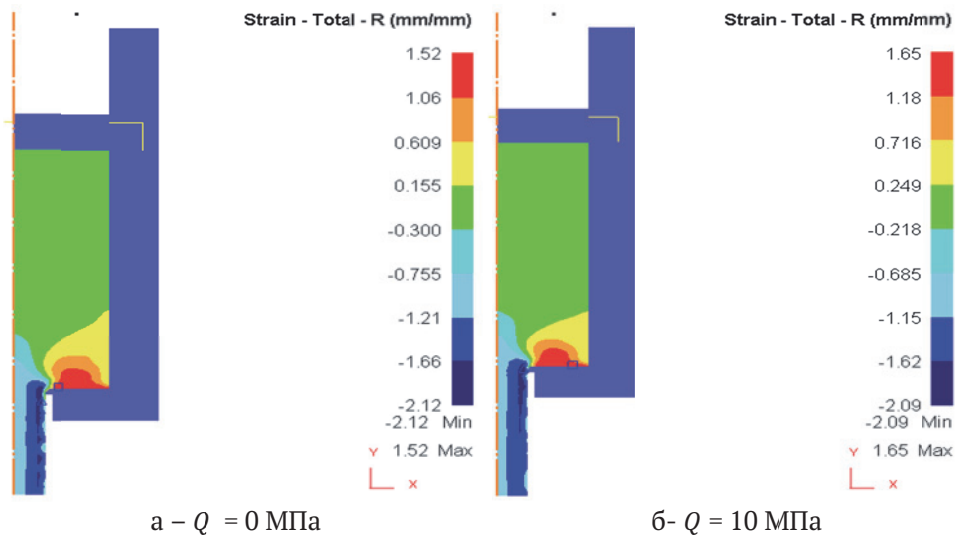


Рис. 5. График распределения полных радиальных деформаций Strain-Total-R

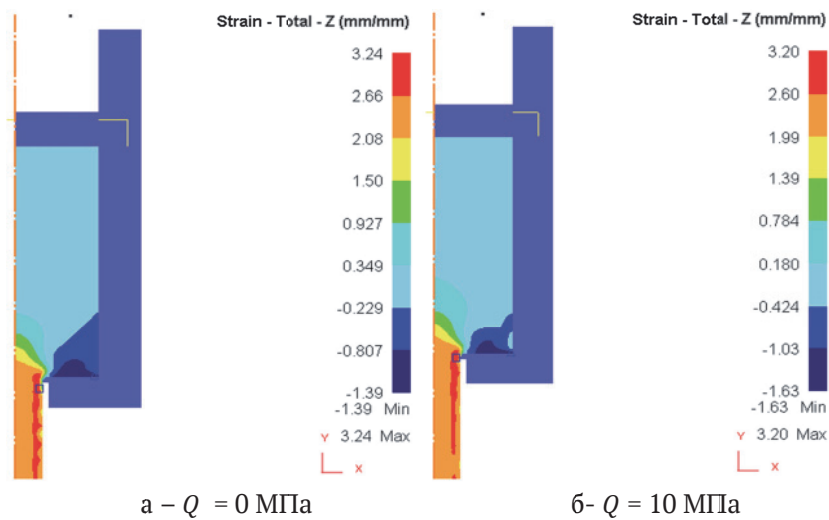


Рис. 6. График распределения полных продольных деформаций Strain-Total-Z

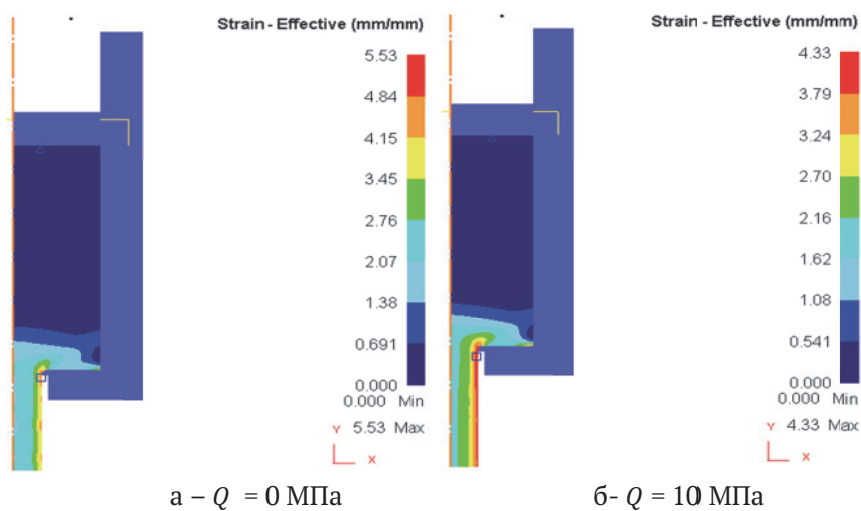


Рис. 7. График распределения интенсивности деформации Strain-Effective

На рис. 9 приведен график распределения продольных напряжений по поперечному сечению прутка в зоне его выхода из калибрующего участка канала матрицы.

Противодавление, создаваемое на выходе готового прутка из канала матрицы, приводит к уменьшению уровня продольных растягивающих напряжений в поверхностных слоях на 31%

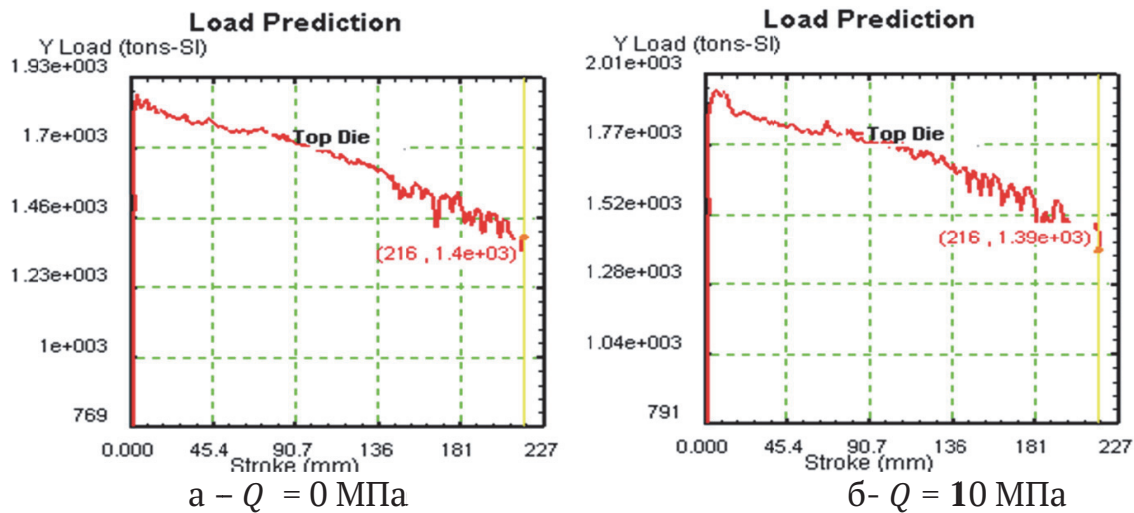


Рис. 8. График усилия прессования в зависимости от величины подпора

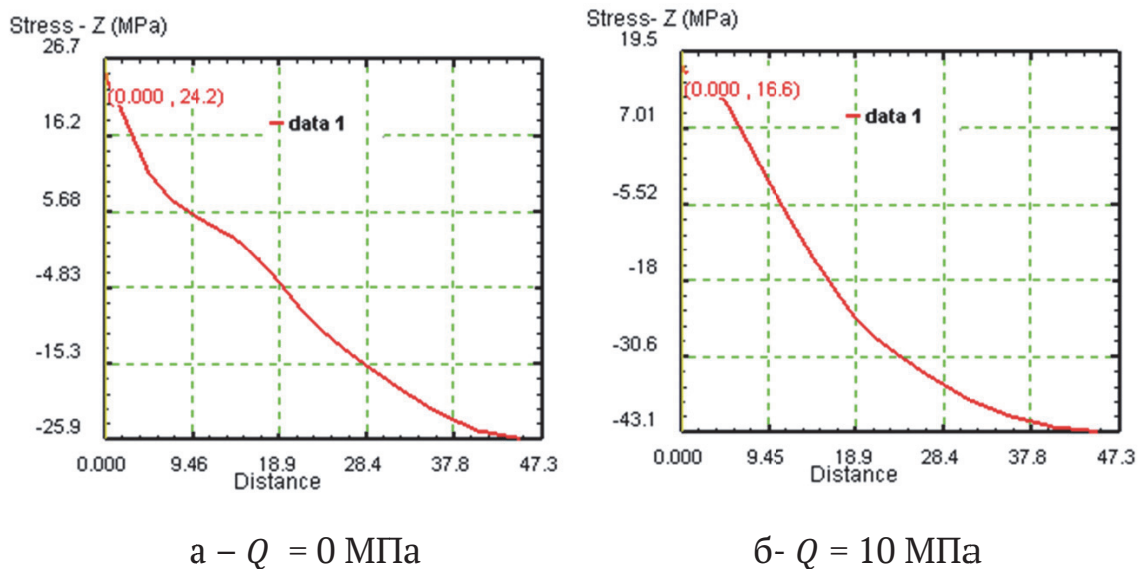


Рис. 9. График распределение продольных напряжений

и увеличению по абсолютной величине сжимающих нормальных напряжений во внутренних слоях прутка на 66%.

ВЫВОДЫ

Противодавление при прессовании прутка в сравнении с прессованием без противодавления приводит в зоне деформации к увеличению гидростатического давления, нормальных напряжений, интенсивности напряжений, уменьшению интенсивности деформаций и продольных растягивающих напряжений в поверхностных слоях прутка при выходе его из канала матрицы.

Противодавление в зоне калибрующего пояска при выходе прутка из канала матрицы позволит уменьшить вероятность образования поперечных макротрещин и проводить прессование с большими скоростями истечения металла, чем при прессовании без противодавления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лукашенко В.Н. Обоснование целесообразности прессования с коэффициентом вытяжки $l < 10$ // Технология легких сплавов. 1980. No. 5. С. 11-14.
2. Kargin V.R., Deryabin A.Y. Characteristics of Large Bars Extruding Using Small Extrusion Ratio // Key Engineering Materials. 2016. vol.644. P. 211-217.
3. Перлин И.Л. Теория прессования металлов. М.: Металлургия, 1964. С. 344.
4. Алиева Л.И., Огородников В.А. Влияния гидростатического давления и истории его изменения на пластичность в задачах обработки металлов давлением // Известия ТулГУ. Технические науки. 2014. Вып. 10. Ч. 1. с. 118-128.
5. Евдокимов А.К., Антохина К.А. Комбинированное выдавливание с противодавлением // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. 2012. № 12. С. 6-12.
6. Евдокимов А.К., Назаров А.В. Учет противодавления при обратном выдавливании с активным трением / Заготовленные производства в маши-

- ностроении. 2007. № 11. С. 28-33.
7. А.С. № 673338 В21С Устройство для прессования с противодействием малопластичных материалов / Б.М.Готлиб, В.Н.Баранчиков, И.А.Добычин, Е.М.Загарских, Д.А. Тихомиров // Б.И. 1979. № 26.
 8. Каргин В.Р., Афанасьев А.Е., Каргин Б.В. Моделирование процесса прессования бурильных труб с наружными утолщениями // Известия Самарского научного центра Российской академии наук – 2016 - Т.18 - №1(2) – С. 215-219.
 9. Патент РФ № 2410178 Устройство для равноканального многоугольного прессования с противодействием. Шур И.А., Иванов К.С., 2011, Б.И. №3
 10. Каргин В.Р., Быков А.П., Каргин Б.В., Ерисов Я.А. Моделирование процессов обработки в программе DEFORM - 2D. Самара: Изд-во МИР, 2011, С. 170.
 11. Громов Н.П. Теория обработки металлов давлением М.: Металлургия, 1967. С. 340.
 4. Alieva L. I., Ogorodnikov V. A. Influence of hydrostatic pressure and history of its change on plasticity in problems of metal forming // Izvestiya TulGU. Technical Science. 2014. Vol. 10. Part 1
 5. Evdokimov A. K., Anokhina K. A. Combined extrusion with counter-pressure / Forging production. Processing of metals by pressure, 2012, no. 12, Pp. 6-12.
 6. Evdokimov A.K., Nazarov A.V. The Account of backpressure in backward extrusion with active friction Harvested production in mechanical engineering, 2007, No. 11, Pp. 28-33.
 7. А. NO. 673338 В21С Device for pressing with backpressure low-plasticity materials / B. M. Gotlib, V. N. Rams, Dobychin, I. A., E. M. Zagarskikh, D. A. Tikhomirov // B. I., 1979, No. 26
 8. Kargin R.V., Afanasyev A.E., Kargin B.V. Modeling of process of pressing drill pipes with outer bulges // proceedings of the Samara scientific center, Russian Academy of Sciences – 2016 - vol. 18 - No. 1(2) – Pp. 215-219.
 9. RF patent № 2410178 Device for a multi-angular equally channel extrusion with backpressure. Shur, I.I., Ivanov, K. S., 2011, No. 3
 10. Kargin V.R., Bykov A.P., Kargin B.V., Irisov J.A. Modeling of processes in the program DEFORM - 2D. Samara: Izd-vo MIR, 2011, p. 170.
 11. Gromov N.P. Theory of metal forming M.: metallurgy, 1967. P. 340.

REFERENCES

1. Lukashenko V.N. Justification of expediency of pressing with the coefficient of drawing $l < 10$ // technology of light alloys. 1980. No. 5. Pp. 11-14.
2. Kargin V.R., Deryabin A.Y. Characteristics of Large Bars Extruding Using Small Extrusion Ratio // Key Engineering Materials. 2016. vol.644. P. 211-217.
3. Perlin I.L. theory of metal pressing. M.: Metallurgy,

THE INFLUENCE COUNTERPRESSURES AT DIRECT PRESSING OF BARS

© 2019 V.R. Kargin, B.V. Kargin A.A. Makhkamov

Samara National Research University named after Academician S.P. Korolyov

A computer simulation of the process of pressing of bars with counterpressure, without counterpressure in the software package Deform 2D / 3D. It was found that the hot pressing of bar of high-strength aluminum alloy D16 with backpressure in comparison with hot pressing without backpressure revealed an increase in hydrostatic pressure, longitudinal, circumferential and radial normal stresses, shear stresses and as a consequence of the intensity of stresses. The boundaries of changes in longitudinal, circumferential, radial and angular deformations are significantly increased, which is associated with an increase in the plasticity of the deformable material caused by an increase in hydrostatic pressure. Backpressure at the exit of bar from the matrix channel changes the nature of the distribution of circumferential, radial and longitudinal stresses throughout the section of bar. The value of longitudinal tensile stresses in the surface layers of the bar is 31% less than when pressing without back pressure.

Keywords: pressing; direct method; round bars; alloy D16; hydrostatic pressure; plasticity of metals, DEFORM; modeling.

DOI: 10.24411/1990-5378-2019-00042