

УДК 621.7

Чухлеб В. Л.  
Клемешов Е. С.  
Гринкевич В. А.  
Ярошенко О. А.  
Халезова Т. А.  
Фролов А. А.  
Дья Х.

## **ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕГО ПРОЦЕССА КОВКИ С РАЦИОНАЛЬНЫМ РЕЖИМОМ ФОРМОИЗМЕНЕНИЯ УМЕНЬШЕННОЙ ПРИБЫЛЬНОЙ ЧАСТИ СЛИТКОВ ИЗ КОРРОЗИОННОСТОЙКИХ СТАЛЕЙ**

На сегодняшний день по всему миру предприятия по производству поковок стремятся постоянно усовершенствовать ресурсосберегающие технологии ковки поковок, ввиду того, что на современных рынках металлопродукции всё чаще появляются и приобретают большой спрос изделия из легированных и специальных сталей. Так как легированные и специальные стали имеют высокие показатели механических свойств, и соответственно, требуют специальных режимов деформации для их получения, то стоимость изделий из этих сталей высока. Процесс получения поковок из слитков свободной ковкой отличается высокими показателями расходов металла, связанных с обрезкой донной и прибыльной части слитка, поэтому в данной области ведутся разработки по усовершенствованию формы исходного слитка, для уменьшения обрезки и повышения коэффициента использования металла. Одной из таких разработок является слиток с уменьшенной прибыльной частью, полученной за счет использования специальных надставок к изложнице. Предприятие ООО «Днепропресс Сталь» начало освоение технологических процессов ковки поковок из слитков с уменьшенной прибыльной частью. Данные слитки позволяют сократить величину обрезки прибыльной части до 7–10% от массы исходного слитка.

Помимо экономии металла при ковке, также необходимо уделить внимание качеству получаемых поковок, которое непосредственно зависит от схемы деформации металла при кузнечной вытяжке (протяжке). Для этого необходимо рассмотреть влияние схем деформации, в частности схем кантовок и степеней деформации на равномерность распределения деформаций в объеме металла, что также играет важную роль в формировании качества поковок.

Высоколегированные стали, в частности, коррозионностойкие стали, из которых изготавливают слитки с уменьшенной прибыльной частью, требуют специального режима деформации. Помимо точного соблюдения температурного интервала ковки для коррозионностойких сталей, необходимо придерживаться и определённой схемы кантовок, а также не превышать допустимые степени деформации. Все эти параметры определяют качество изделия, и в частности, механические свойства.

Поэтому, согласно вышесказанному, необходима разработка оптимальных режимов деформации при ковке поковок гладких валов из слитков с уменьшенной прибыльной частью из коррозионностойких сталей с целью получения высокого качества продукции является актуальной проблемой.

На данном этапе развития науки в области обработки металлов давлением существует тенденция к постоянному усовершенствованию технологий получения металлопродукции. В кузнечно-штамповочном производстве, существует два приоритетных направления, одно из которых – это усовершенствование формы деформирующего инструмента и заготовки, а второй – это оптимизация параметров для конкретных деформационных процессов.

К усовершенствованию формы деформирующего инструмента, в штамповочном производстве, относится изменение формы штампов, а в кузнечном производстве (изготовление поковок свободной ковкой) – оптимизация формы универсальных ковочных бойков. В данном направлении, относительно производства поковок свободной ковкой, существует множество работ, в которых рассматривается влияние нестандартных форм бойков, отличных от классических плоских, вырезных или комбинированных, на напряженно-деформированное состояние поковки. В работе [1] рассмотрено влияние геометрических параметров инструмента на деформированное состояние металла и дефектообразование. Авторы работы [1] использовали ступенчатые бойки для более интенсивной проработки внутренних слоев металла заготовки, при этом, ими было установлено, что при малых обжатиях в пределах 10–15% вероятность образования внешних дефектов на поверхности круглой заготовки небольшая, а степень деформации свыше 10–15% способствует появлению дефектов. Для устранения возможности появления подобных дефектов предложено использовать бойки с углом скоса  $45^\circ$ . Однако данный метод накладывает определённые трудности при составлении технологического процесса и соответственно увеличивает время производства поковок, что отражается на производительности, в особенности в условиях производства на предприятиях. Поэтому в данной работе была принята стандартная форма инструмента, то есть комбинированные бойки с верхним плоским и нижним вырезным бойком, которая зачастую используется на предприятиях.

Как было сказано, при составлении технологического процесса производства поковки, на предприятиях используются специальные схемы. Подобная схема приведена в работе [2]. Помимо выбора формы и размеров бойков, что является одним из пунктов данной схемы, выполняется проектирование самого процесса деформации, то есть количества операцийковки и их параметров. К параметрам процессаковки длинномерных изделий относятся степень деформации заготовки, величина подачи и схема кантовок заготовки. Ещё одним параметромковки, который выражается через схему кантовок, является наличие макросдвигов. Исходя из данных в работе [3], данная область изучения пластической деформации металлов набирает всё большую популярность. Вызвано это тем, что применяя лишь небольшие степени деформации при ковке возможно получение минимальной анизотропии свойств металла как в продольном, так и в поперечном направлении. Помимо этого, существуют исследования по изучению влияния неравномерного нагрева заготовок для интенсификации сдвиговых деформаций. Одно из таких исследований выполнено в работе [4], в которой авторы добиваются улучшения проработки центральной зоны заготовки за счет интенсивной сдвиговой деформации. Однако направленная неравномерность нагрева заготовки имеет и отрицательные эффекты при ковке высоколегированных коррозионных сталей, ввиду того, что высоколегированные стали чувствительны к перепадам температуры на поверхности заготовки (слитка) и это способствует образованию дефектов.

Помимо вышеперечисленных направлений усовершенствования технологийковки и формы деформирующего инструмента, также стремятся повысить коэффициент использования металла. Одна из таких разработок приведена в [5]. Целью этой разработки являлось повышение коэффициента использования металла за счет исключения возможности распространения продольных трещин из прибыльной части в тело слитка. Подобным же путем идут при совершенствовании формы исходного слитка за счет специальной технологии отливки слитков с уменьшенной прибыльной частью, что позволяет повысить коэффициент использования металла.

Как было сказано ранее, в мире все больше возникает потребность в металлопродукции со специальным набором механических свойств, которые, частично, обеспечиваются легированием стали. Так же известно, что легированные марки стали требуют специального деформационного режима, во избежание образования дефектов как внешних, так и внутренних. Для этого разрабатываются специальные технологические процессыковки, в которых важную роль играют чередующиеся обжатия и кантовки. Поэтому в данной работе проведе-

но исследование по усовершенствованию ресурсосберегающей технологииковки слитков с уменьшенной прибыльной частью.

Главной целью данной работы является изучение влияния параметровковки поковок из слитков с уменьшенной прибыльной частью на заковку усадочной раковины.

Для моделирования процесса свободнойковки в Forge 2008® были заданы параметры реального процессаковки поковок из слитков с уменьшенной прибыльной частью.

Исходной заготовкой являлся слиток с уменьшенной прибыльной частью из стали X18H10T. Эскиз изложницы слитка с основными размерами приведен на рис. 1.

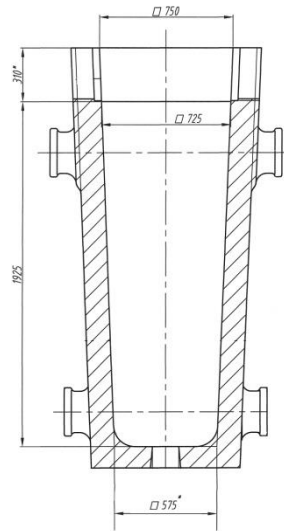


Рис. 1. Эскиз изложницы для отливки слитков с уменьшенной прибыльной частью

Сам слиток имеет форму усеченной пирамиды с квадратным поперечным сечением. Длина слитка составляет 2325 мм, из которых 400 мм – это прибыльная часть. Нижняя часть имеет размеры 575x575 мм, а верхняя часть слитка имеет размеры 725x725 мм. При этом все основные грани слитка имеют закругление, и, таким образом, в донной части слитка грани закруглены на  $R=120$  мм, а боковые грани слитка на  $R=65$  мм. Согласно этим данным была спроектирована и построена объемная модель слитка, которая изображена на рис. 2.

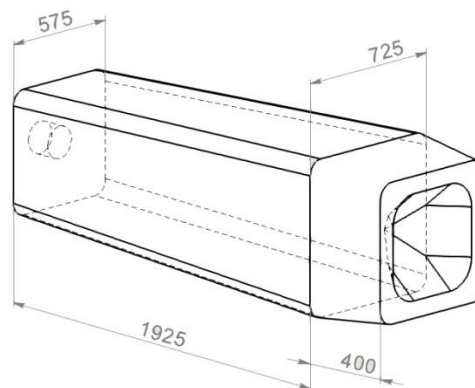


Рис. 2. Чертеж объемной модели слитка для моделирования процессаковки

В любом слитке, а точнее, в его прибыльной части находится усадочная раковина. По сравнению с обыкновенными слитками, в слитках с уменьшенной прибыльной частью, усадочная раковина также имеет меньшую глубину, и в соответствии с технологическими данными было принято, что глубина усадочной раковины находится в пределах 300 мм.

Согласно технологическому процессуковки выбран оптимальный температурный интервал для данной марки стали. Температурный интервалковки составляет 1250 - 850°C. Со-

гласно технологииковки легированных сталей, необходим подогрев инструмента для уменьшения тепловых затрат поковки. В данном случае, бойки подогреты до 200°С. При моделировании используются комбинированные бойки - верхний плоский, а нижний вырезной. Развал выреза нижнего бойка составляет 450 мм, глубина выреза - 160 мм, а ширина рабочей части составляет 440 мм.

Выбор оптимальной схемы кантовок опирается на исследования в [6], где описано исследование влияния различных схем кантовок на напряженно-деформированное состояние металла. Некоторые схемы кантовок оказались нерациональны ввиду большой неравномерности деформаций и, как следствие, сильного искривления поковки. Поэтому наиболее оптимальной схемой была выбрана схема обжатий «по кольцу», состоящая из 16 обжатий за одну подачу. Углы кантовок при ковке равны 120° после первого и второго обжатия, а после третьего обжатия угол кантовки заменяется кантовкой на угол в 60°. После четвертого и пятого обжатия угол кантовки так же составляет 60°, а после шестого обжатия заменяется углом в 15°, который остается неизменным при последующих десяти обжатиях. Величина подачи составляет половину ширины бойка и равна 220 мм. Так же, исходя из данных источника [6], степень деформации была принята 10%.

В процессековки было замечено, что при данных параметрахковки закрытиеусадочной раковины происходит на втором проходе по длине после биллетировки иковки на круглое сечение. На рис. 3 представлены стадии заковкиусадочной раковины слитка с уменьшенной прибыльной частью.

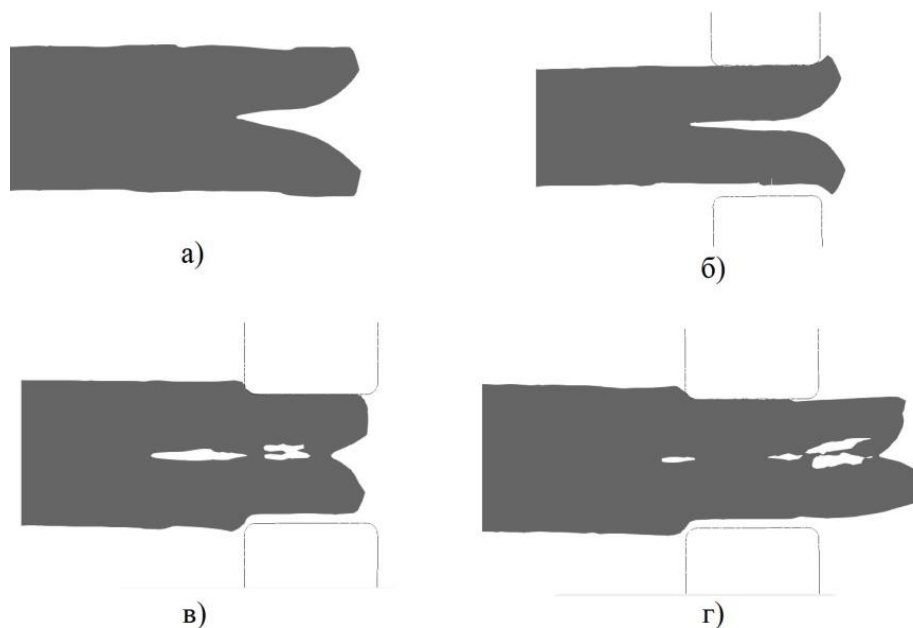


Рис. 3. Закрытиеусадочной раковины слитка при ковке после биллетировки (а), после первого прохода по длине (б) и после первой (в) и второй (г) подачи при втором проходе по длине

Для анализа результатов моделирования были рассмотрены три равноудаленных поперечных сечения поковки в зоне заковкиусадочной раковины, которые были проанализированы в соответствии с методом оценки неравномерности деформации [6].

Распределение напряжений в поперечных сечениях представлено на рис. 4 (а, б, в), деформаций на рис. 4 (г, д, е) и температур на рис. 4 (ж, з, и).

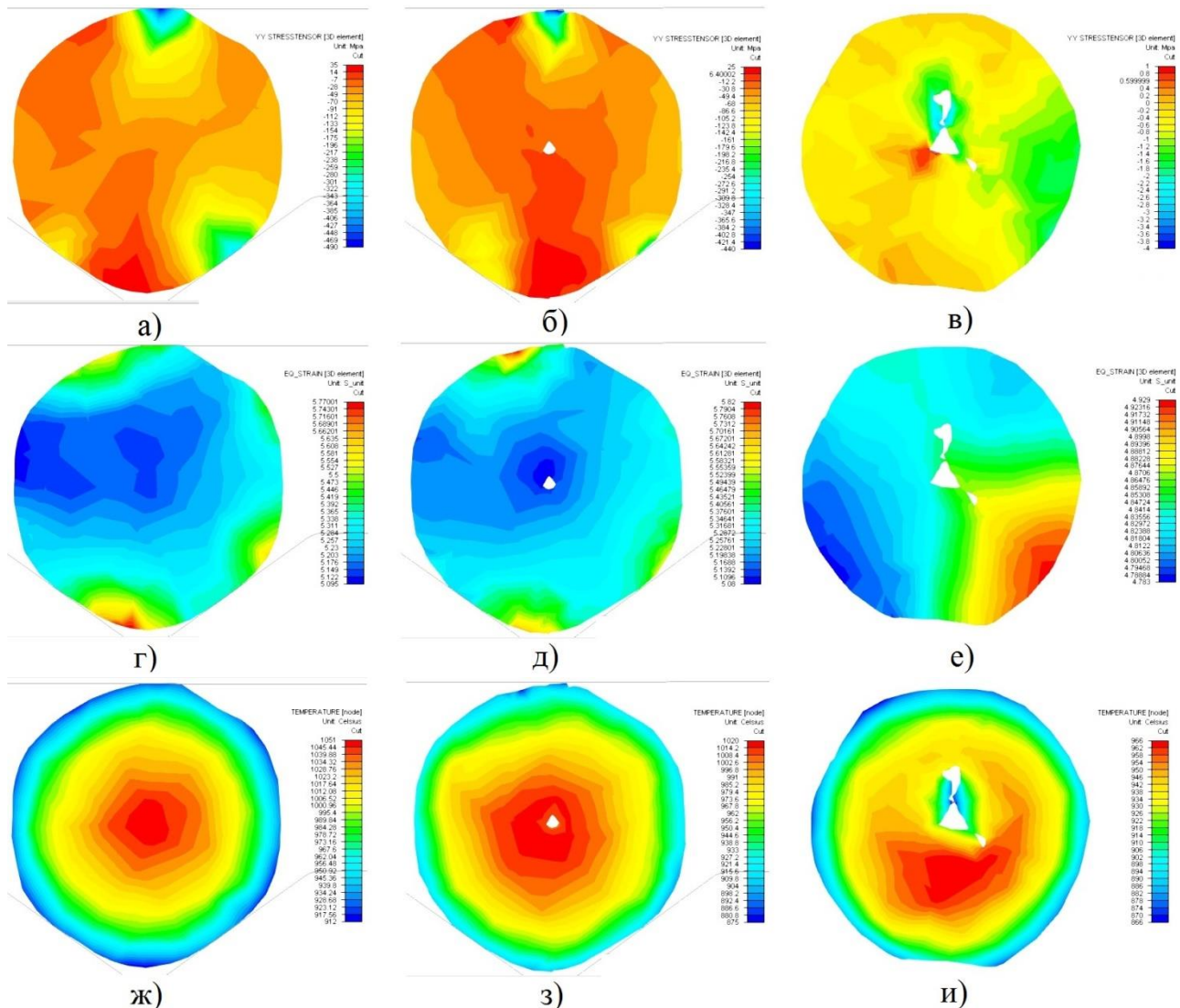


Рис. 4. Распределение напряжений (а, б, в), деформаций (г, д, е) и температур (ж, з, и) в поперечных сечениях поковки в районе закованной усадочной раковины

Равномерность распределения деформаций в металле определяется как можно меньшей разницей показателей деформации между собой в сечении, и для того, чтобы количественно оценить неравномерность распределения деформаций в поперечных сечениях, был рассчитан показатель неравномерности деформации  $K_n$ . Показатель неравномерности деформации может принимать значения не больше единицы, так как является отношением показателей эквивалентной деформации в контрольных точках сечения к максимальному значению эквивалентной деформации в сечении. После того как было найдено максимальное значение в сечении, относительно этой точки были построены 4 диагонали, которые расположены под углом  $45^\circ$  друг к другу. Далее на каждую диагональ было нанесено 6 контрольных точек симметрично к точке с максимальным значением и симметрично к центру сечения.

Более детальный анализ неравномерности распределения деформаций проведен с помощью построения графиков (рис. 5). На графиках изображены показатели неравномерности деформации в контрольных точках на диагоналях сечения.

Проанализировав графики, можно сделать вывод о том, что неравномерность деформаций в объеме металла усадочной раковины уменьшается по направлению от края поковки до конца усадочной раковины. Следовательно, можно предполагать, что на сечении №3 закованная усадочная раковина заканчивается и дальше, по направлению к середине поковки, следует цельный объем металла.

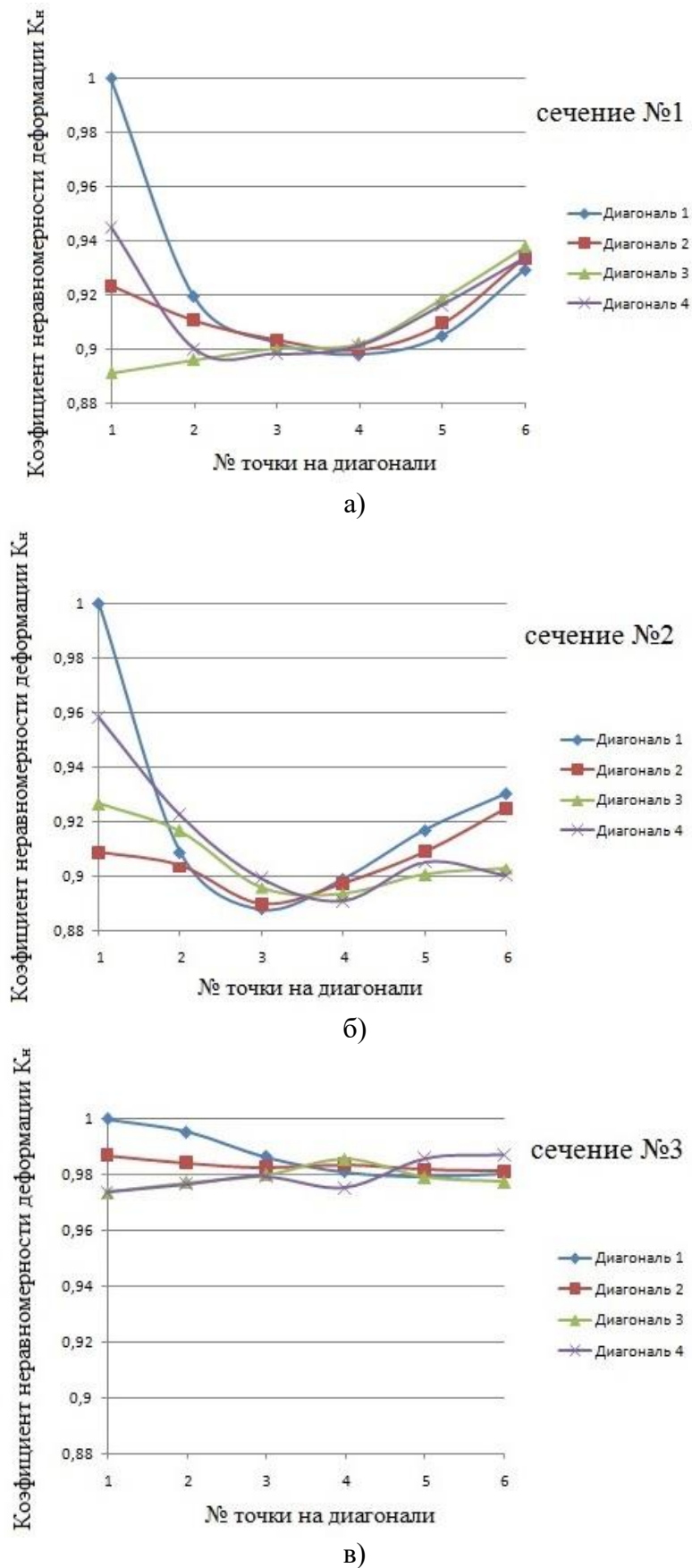


Рис. 5. Распределение коэффициента неравномерности деформации в поперечном сечении №1 (а), сечении №2 (б) и сечении №3 (в) заготовки в зоне заковки усадочной раковины

Также, результаты ковки слитков на предприятии и результаты моделирования процесса ковки слитков показали практически одинаковое формоизменение металла, о чем можно судить из рис. 6.

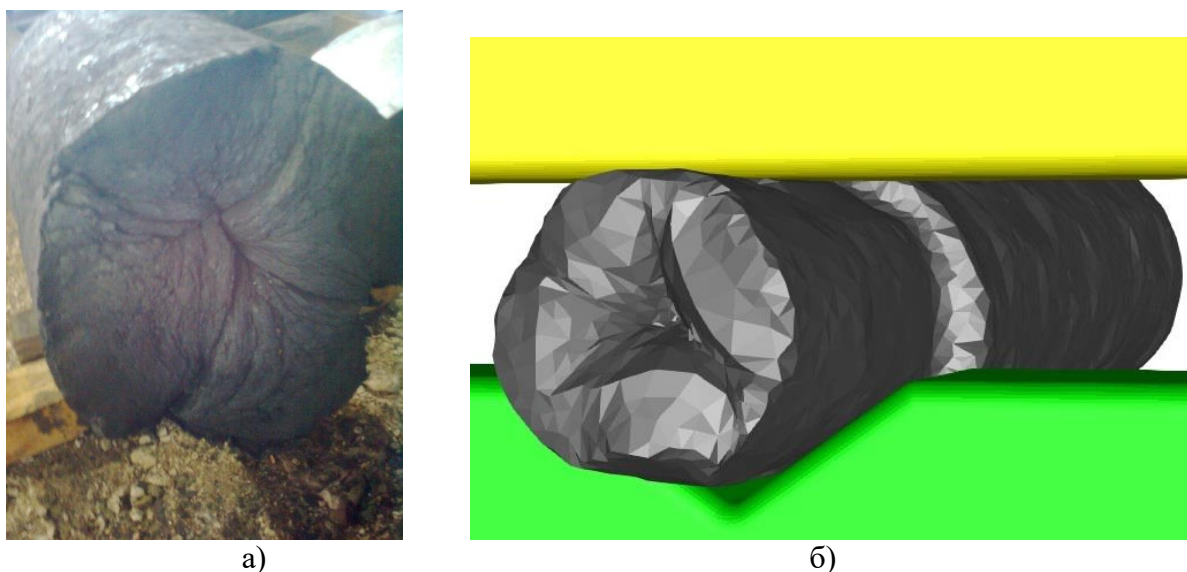


Рис. 6. Результаты ковки слитков на ООО «Днепропресс Сталь» (а) и результаты математического моделирования процесса ковки слитков (б)

По результатам моделирования был определен объем металла усадочной раковины, который будет удален обрезкой. Длина закованной усадочной раковины, при диаметре поковки равном 360 мм, составила 630 мм. При данных размерах масса обрезки составляет приблизительно 450 - 550 кг, что соответствует 7-10% от массы исходного слитка.

### ВЫВОДЫ

В работе выполнен анализ формоизменения металла усадочной раковины слитка с уменьшенной прибыльной частью при кузнечной вытяжке. Данный анализ показывает то, что при данной схеме ковки, в области усадочной раковины, равномерность распределения деформаций низка и по мере приближения от края усадочной раковины к середине заготовки увеличивается. Также видно, что во внешних слоях металла заготовки происходит более интенсивная деформация, которая способствует более высокой скорости течения внешних слоев относительно центральной части. На рис. 3 видно влияние разницы скоростей течения металла, в результате чего происходит закрытие усадочной раковины и её окончательный заков. Для ещё большего увеличения выхода годного необходима более интенсивная проработка внутренних слоев металла, для увеличения скорости их истечения по отношению к внешним слоям. При использовании данной схемы деформации при ковке слитков с уменьшенной прибыльной частью удалось сократить расход металла на обрезку до 7–10% от исходной массы слитка, что в несколько раз меньше, по сравнению с ковкой слитков обычной формы. Данная разработка принята к рассмотрению и внедрению на ООО «Днепропресс Сталь» с последующей автоматизацией свободной ковки слитков с уменьшенной прибыльной частью в кузнечно-термическом цехе на гидравлических ковочных прессах.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиева Л.И. Ковка поковок типа валов с продольным сдвигом специальными бойками / Л.И. Алиева, Я.Г. Жбанков, В.Ю. Станков // Вестник НТУ «ХПИ». – 2013. – № 43 (1016). – С. 3–10.
2. Морозова С.А. Блок-схема проектирования технологии свободной ковки на прессах / С.А. Морозова, О.В. Жуйкова, В.Н. Неверов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. – №8-9. – С. 467–471.

3. Тюрин В.А. Макросдвиг – союзник кузнеца / В.А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2016. – №8. – С. 6–10.
4. Жбанков Я.Г. Интенсификация сдвиговых деформаций при ковке заготовок с неоднородным температурным полем / Я.Г. Жбанков // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – №2 (281). – С. 42–47.
5. Авторское свидетельство СССР №940983, кл. В 21 J 1/04. Способковки крупных слитков / В.В. Псарев, Н.П. Портняга, П.П. Кальченко, В.О. Кононенко. - № 2968730/ 25 – 27; заявл. 06.08.1980; опубл. 07.07.1982; Бюл. № 25. – 3 с.
6. Дослідження напружено-деформованого стану при протяжці титанового сплаву з метою оптимізації параметрів кування / В.Л. Чухліб, Є.С. Клемешов, В.О. Гринкевич, Х. Дия // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2015. – №24(1133). – С. 159–166.

## REFERENCES

1. Alieva L.I. Kovka pokovok tipa valov s prodol'nym sdvigom special'nymi bojkami / L.I. Alieva, Ja.G. Zhbankov, V.Ju. Stankov // *Vestnik NTU «HPI»*. – 2013. – № 43 (1016). – S. 3–10.
2. Morozova S.A. Blok-shema proektirovanija tehnologii svobodnoj kovki na pressah / S.A. Morozova, O.V. Zhujkova, V.N. Neverov // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2002. – №8-9. – S. 467–471.
3. Tjurin V.A. Makrosdvig – sojuznik kuzneca / V.A. Tjurin // *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo. Obrabotka metallov davleniem*. – 2016. – №8. – S. 6–10.
4. Zhbankov Ja.G. Intensifikacija sdvigovyh deformacij pri kovke zagotovok s neodnorodnym temperaturnym polem / Ja.G. Zhbankov // *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*. – 2013. – №2 (281). – S. 42–47.
5. Avtorskoje svidetel'stvo SSSR №940983, kl. B 21 J 1/04. Sposob kovki krupnyh slitkov / V.V. Psarev, N.P. Portnjaga, P.P. Kal'chenko, V.O. Kononenko. – № 2968730/ 25 – 27; zajavl. 06.08.1980; opubl. 07.07.1982; Bjul. № 25. – 3 s.
6. Doslidzhennja napruzhenno-deformovanogo stanu pri protjazhci titanovogo splavu z metoju optimi-zacii parametriv kuvannja / V.L. Chuhlib, Є.S. Klemeshov, V.O. Grinkevich, H. Dija // *Visnik NTU «HPI»*. – 2015. – №24(1133). – S. 159–166.

- Чухлеб В. Л. – канд. техн. наук, доц. каф. ОМД НМетАУ  
Клемешов Е. С. – аспирант каф. ОМД НМетАУ  
Гринкевич В. А. – докт. техн. наук, проф. каф. ОМД НМетАУ  
Ярошенко О. А. – директор по производству ООО «Днепропресс Сталь» (г. Днепр)  
Халезова Т. А. – нач. отд. технологий кузнечно-термического производства ООО «Днепропресс Сталь» (г. Днепр)  
Фролов А. А. – магистр каф. ОМД НМетАУ  
Дыя Х. – д-р техн. наук, проф. Политехника Ченстохова (г. Ченстахова, Польша)

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр.

E-mail: cvl@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.02.2017 г.