

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОВКИ ПЛИТ ИЗ ПРОКАТНЫХ СЛИТКОВ

Янчук С. В., Мартынов С. В., Таган Л. В., Комиренко А. Д.

Проведено моделирование с помощью метода конечных элементов схемы кузнечной протяжки плиты из прокатного слитка макросдвигами в программе QForm-2D. Моделирование процесса ковки плиты из прокатного слитка PR54 (54 тонны) показало, что протяжка макросдвигами позволяет получать локальный уков в центральной зоне 4,4, что на 44 % больше, чем при ковке по классической технологии (уков 2,46). Вместе с тем выявлены и недостатки схемы: загибание заготовки, необходимость правки, наличие менее проработанных, нежели центральная часть, донной и прибыльной зон, вероятность трещинообразования при неправильном выборе зазора между бойками, возможность подъема ковочного манипулятора относительно задней оси. Вышеперечисленные недостатки можно минимизировать либо полностью устранить при правильном выборе режима ковки.

Проведено моделювання за допомогою методу кінцевих елементів схеми ковальської протяжки плити з прокатного злитку макросувами в програмі QForm-2D. Моделювання процесу кування плити з прокатного злитку PR54 (54 тонни) показало, що протяжка макросувами дозволяє отримувати локальний уков в центральній зоні 4,4, що на 44 % більше, ніж при куванні за класичною технологією (уков 2,46). Разом з тим виявлені і недоліки схеми: загинання заготовки, необхідність правки, наявність менш опрацьованих, ніж центральна частина, донної і прибуткової зон, ймовірність тріщиноутворення при неправильному виборі зазору між бойками, можливість підйому кувального маніпулятора щодо задньої осі. Вищеперелічені недоліки можна мінімізувати або повністю усунути при правильному виборі режиму кування.

The simulation using the finite element method schemes of blacksmith pulling slabs of rolling ingot macro shifts in the program QForm-2D is carried out. Simulation of the forging process of plates of rolling ingot PR54 (54 tons) showed that the prolongation of the macro shifts can receive local deformation in the central zone of 4,4, which is 44 % higher than in the classical forging technology (deformation 2,46). However, the disadvantages are identified in the scheme: bending of the workpiece, the need for changes, the availability of less-developed than the central part of the bottom and profitable areas, the likelihood of cracking in case of wrong choice of the gap between the strikers, possibility of forging manipulator raising relative to the rear axle. The above-mentioned disadvantages can be minimized or completely eliminated by the choice of forging.

Янчук С. В.

инженер-технолог ПАО «ЭМСС»

Мартынов С. В.

ассистент кафедры ОМД ДГМА
omd@dgma.donetsk.ua

Таган Л. В.

аспирант ДГМА

Комиренко А. Д.

студент ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск

ПАО «ЭМСС» – Публичное акционерное общество «Энергомашспецсталь», г. Краматорск

УДК 621.7

Янчук С. В., Мартынов С. В., Таган Л. В., Комиренко А. Д.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОВКИ ПЛИТ ИЗ ПРОКАТНЫХ СЛИТКОВ

В последнее время на машиностроительных предприятиях Украины наметилась тенденция изготовления поковок типа «плит» из слябов (прокатных слитков). Использование такого типа заготовок приводит к уменьшению количества выносов, а соответственно и уменьшению энергозатрат, за счет уменьшения машинного времени обработки поковки. Но при этом уменьшение уклона (до 2,5) вследствие отсутствия в структуре техпроцесса операции осадки влечет за собой снижение механических свойств готового изделия, худшую проработку структуры и, часто, не закрытие дефектов осевой рыхлости.

В литературе известны способы улучшения проработки зоны осевой рыхлости, которая из-за особенностей кристаллизации слябового слитка имеет большую по сечению длину по сравнению с обычным кузнечным слитком. Для этой цели используют выпуклый V-образный верхний боек и нижний вырезной боек для прогиба тела недокова плиты в центральной части [1–8], протяжку скрещивающимися бойками [9], ковку эллипсовидным бойком [10], специальный комбинированный инструмент [11, 12], протяжку выпуклыми бойками [13], деформирование с макросдвигами в ступенчатых бойках [14, 15]. Однако каждый из этих способов требует изготовления специализированного инструмента, что увеличивает стоимость поковки, при этом не гарантирует закрытие пустот. Поэтому задача получения поковок типа «плит» со слябов, имеющих низкую себестоимость при приемлемом качестве, является актуальной задачей.

Целью данной работы является оценка возможности применения процесса протяжки плиты из прокатного слитка макросдвигами на обычных плоских плитах, а также определение локального уклона по сечению плиты с помощью программы конечно-элементного моделирования QForm-2D.

Идея использования протяжки плиты с макросдвигами заключается в том, что бойки (после биллетировки на прямоугольник) выставляются с зазором один относительно другого. При нажиме траверсы прессы объем металла находящийся под верхним бойком смещается по вертикали относительно объема металла находящегося над нижним бойком. При этом происходит накопление сдвиговой деформации в очаге, простилающемся от нижнего бойка в направлении верхнего (зона зазора между бойками) без существенного изменения толщины плиты. Это приводит к увеличению уклона, и как следствие, к уменьшению размеров зерна и закрытию дефектов осевой рыхлости.

При моделировании в пакете QForm-2D решалась плоская задача. Такой подход значительно (в сотни раз) снижает время расчета, но при этом весь металл перераспределяется в длину (отсутствует уширение). Но так как проблемной зоной является вся же центральная, по закону наименьшего сопротивления и по принципу наименьшей нормали (рис. 1, а) металл, находящийся в осевой зоне, будет течь в длину без значительного уширения (одна из причин образования «языка»). Поэтому решение об использовании плоской задачи является обоснованным и корректным для осевой зоны поковки.

Расчет локального уклона происходил, исходя из следующих соотношений (1):

$$\varepsilon = \ln \frac{F_0}{F_1}, \quad \gamma = \frac{F_0}{F_1} = \exp^{\varepsilon}. \quad (1)$$

При моделировании процесса ковки плиты из прокатного слитка PR54 рассматривались три схемы: протяжка плоскими бойками с подачей 2/3 ширины бойка (ширина бойка 1200 мм), протяжка плоскими бойками с макросдвигом без правки, протяжка плоскими бойками

с макросдвигом с использованием правки. Геометрические параметры слитка задавались следующие: длина тела слитка 2600 мм, прибыли 550 мм, уклон на обе стороны 2,11 %, толщина тела в донной части 1110 мм и, соответственно, в прибыльной 1220 мм. Граничные условия задавались следующим образом: материал DIN 21NiCrMo; зависимость $\sigma_s = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon}, T)$ см. рис. 1, б; плотность материала 7530 кг/мм³; теплопроводность 28 $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$; теплоемкость 636 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$; температура плавления 1539 °С; скорость деформирования 10 мм/с; температура бойков постоянная 100 °С; инструмент абсолютно жесткий, не моделируется; коэффициент трения по Леванову 0,8; начальная температура заготовки 1200 °С. При моделировании учитывалось (по времени) охлаждение заготовки на воздухе и в инструменте во время транспортирования под прессом.

На начальном этапе моделировалась для всех трех схем биллетировка слитка (подача бойка 900 мм) (рис. 2). Моделирование классической схемы протяжки плиты предусматривает, помимо биллетировки, два прохода на 700 и 630 мм (рис. 3). Накопленная логарифмическая степень деформации в средней части заготовки составила 0,8...0,9 (уков 2,23...2,46), а у наружных слоев циклично менялась в среднем от 0,7 до 1,2 (уков от 2 до 3,3). Следует отметить, что донная часть поковки наименее проработана (деформация 0,4, уков 1,5).

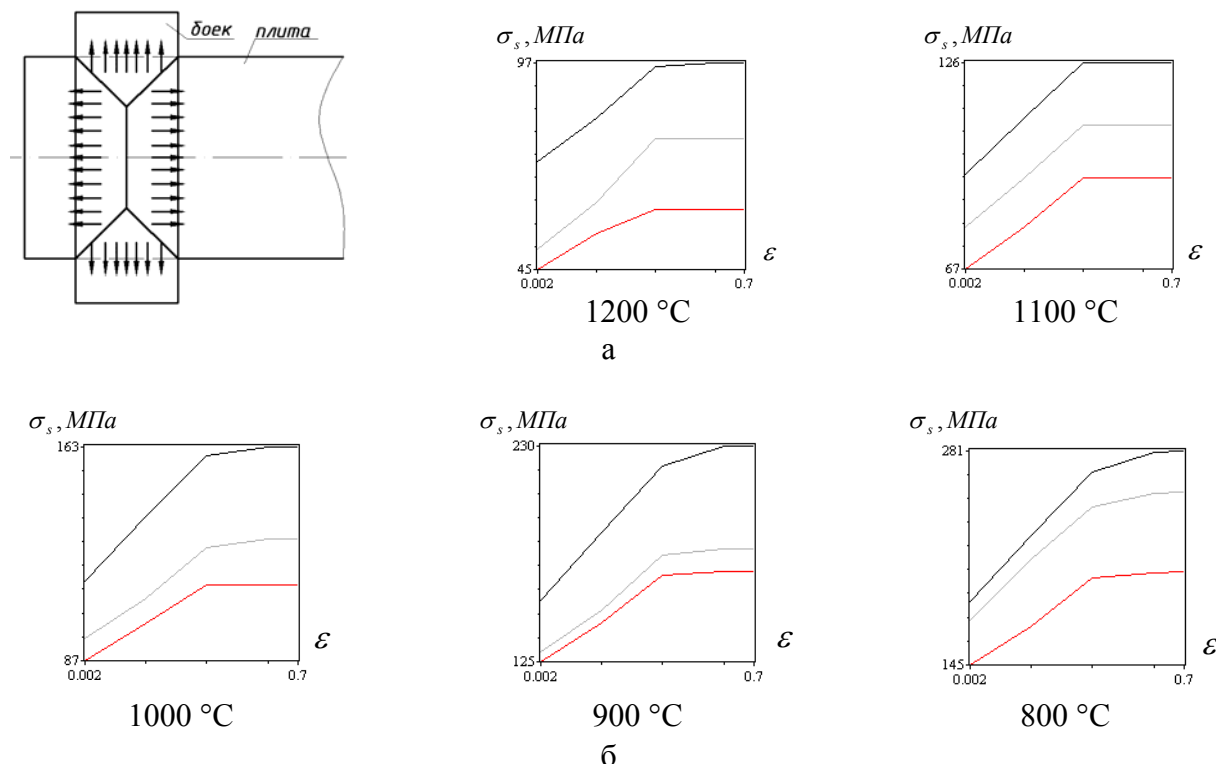


Рис. 1. Схема распределения металла в плане при протяжке плиты (а) кривые упрочнения стали DIN 21NiCrMo $\sigma_s = f(\varepsilon, \dot{\varepsilon})$ (б)

При моделировании протяжки плоскими бойками с макросдвигом без правки зазор между бойками принимался равным 200 мм, ход верхнего бойка 250 мм. В процессе протяжки происходит загиб заготовки к нижнему бойку, причем дальнейшая правка будет весьма осложнена, ввиду большого угла загиба (рис. 4). Средняя деформация в проработанной зоне составляет 1,4 (уков 4), что на 38,5 % больше, чем при ковке по классической технологии.

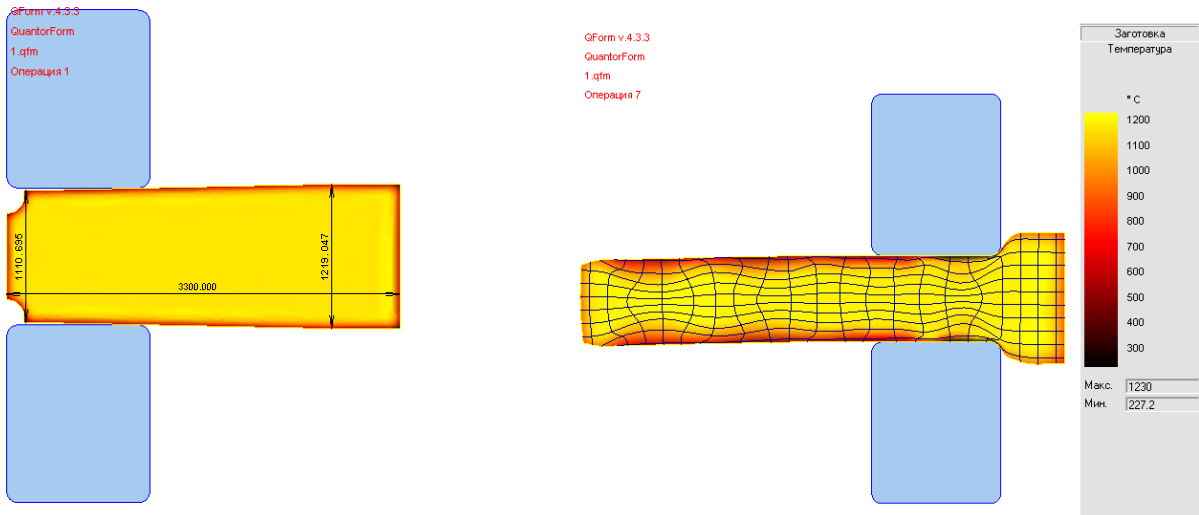


Рис. 2. Распределение температур на исходной и сбилетированной заготовке

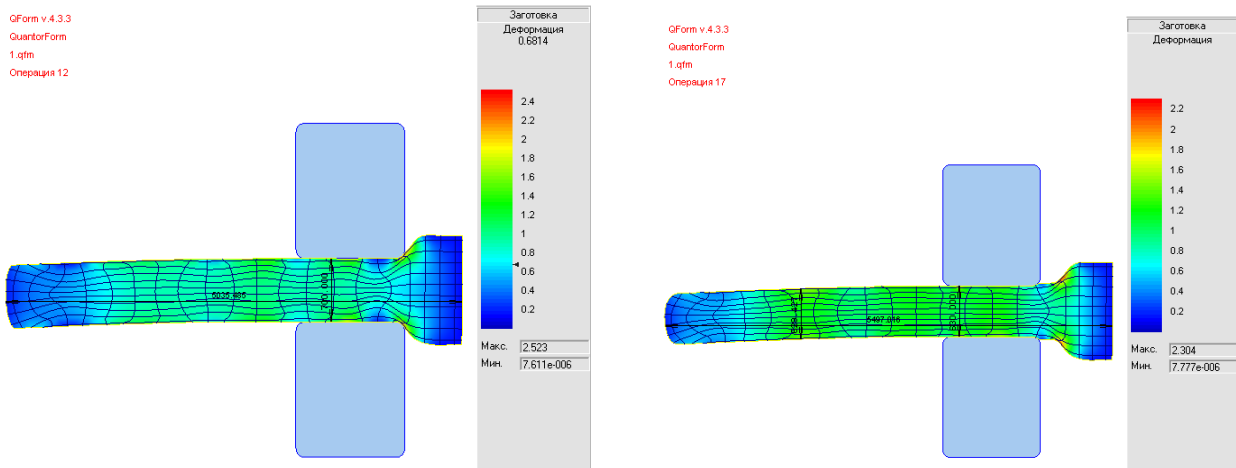


Рис. 3. Распределение логарифмических деформаций на 2 и 3 проходе

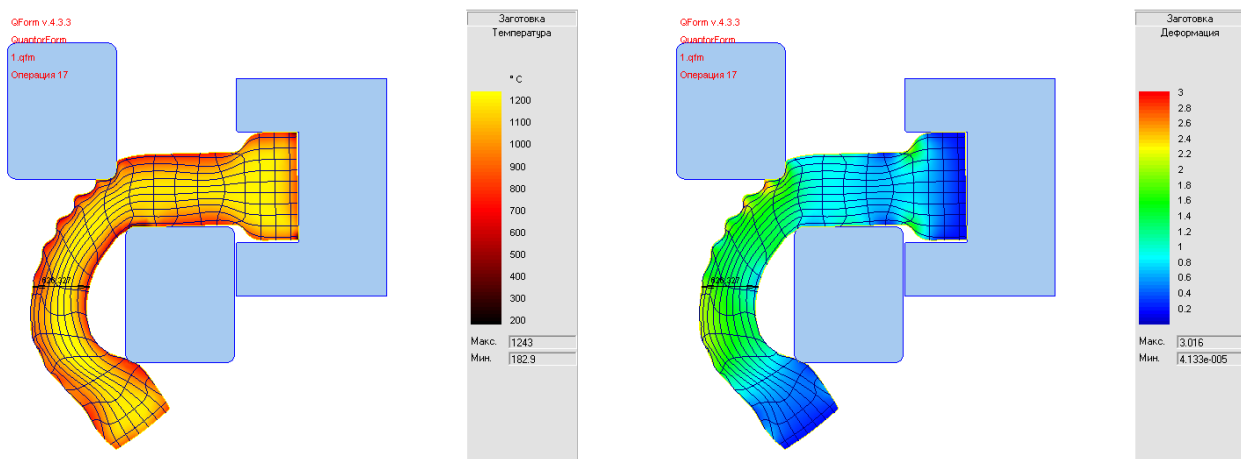
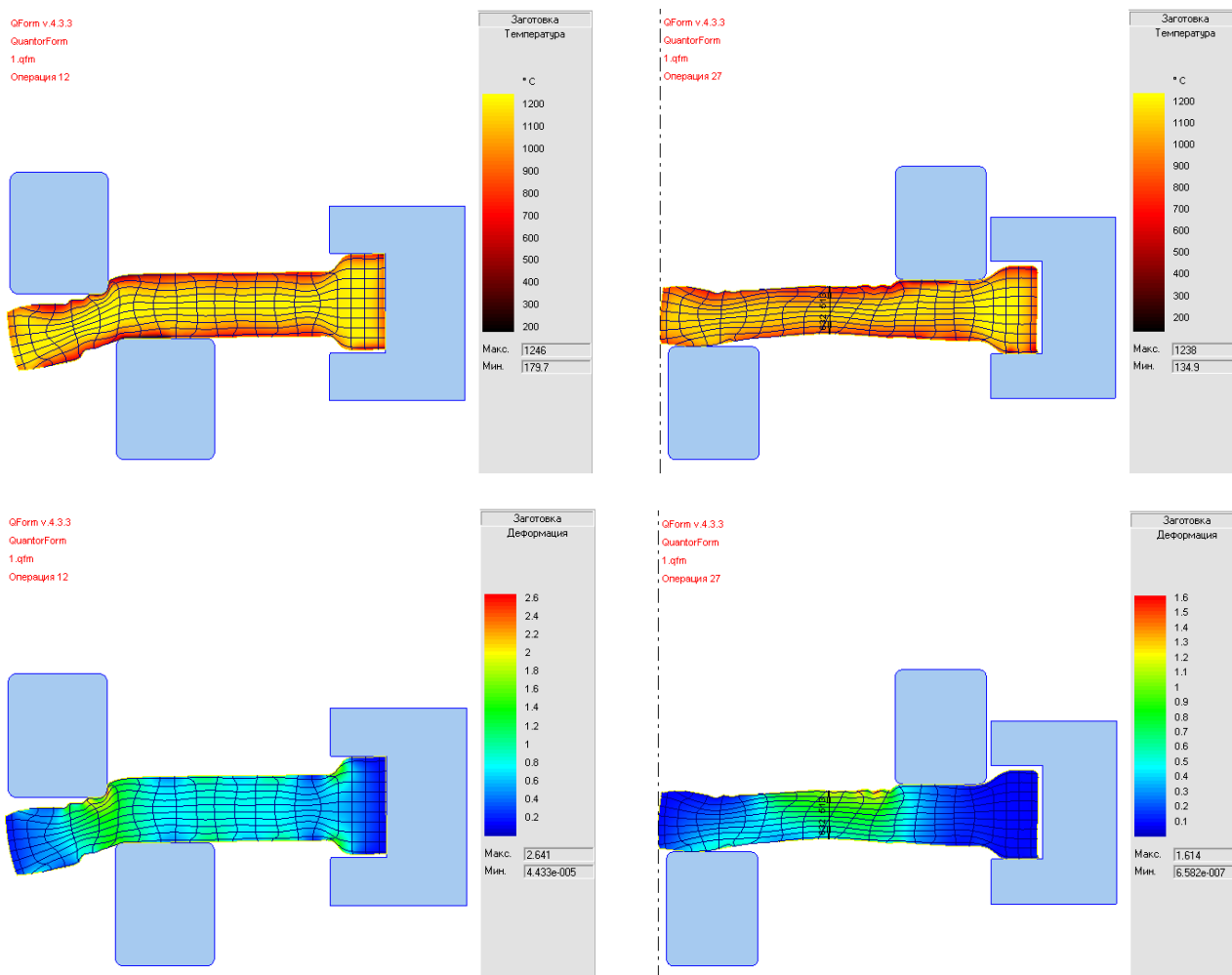


Рис. 4. Распределение температуры и логарифмических деформаций при протяжке плоскими бойками с макросдвигом без правки

При моделировании протяжки плоскими бойками с макросдвигом с правкой зазор между бойками принимался равным 200 мм, ход верхнего бойка 250 мм (рис. 5). Расчет про-

изводился без окончательной правки по высоте. В процессе расчета произошло обнуление деформации, но, используя свойство аддитивности логарифмической деформации, найдем суммарную деформацию. Для этого воспользуемся трассируемыми точками, которые по своим номерам позволят отследить положение деформируемых точек металла. При рассмотрении точки № 521, находящейся на центральной оси в зоне максимальной проработки, снимаем значения деформации до обнуления и после и суммируем их: $0,71 + 0,78 = 1,49$ (уков 4,4), что немногим выше, чем при ковке с макросдвигом без правки и на 44 % больше, чем при ковке по классической технологии.



а

б

Рис. 5. Распределение температуры и логарифмических деформаций при протяжке плоскими бойками с макросдвигом с правкой до обнуления деформации (а) и после обнуления (б)

Недостатком данной схемы является наличие непроработанных зон в прибыльной и донной частях. Уменьшение протяженности этих зон можно добиться, используя бойки меньшей ширины (например, 800 мм), а также, используя ковку с разворотом. Применение правки заготовки приводит к увеличению машинного времени, что может привести к дополнительному нагреву заготовки. Также нужно учитывать возможность подъема и поворота в вертикальной плоскости относительно оси заднего колеса манипулятора. Снижение зазора уменьшает вероятность подъема манипулятора (вследствие уменьшения плеча), но при этом увеличивает вероятность трещинообразования и снижает производительность процессаковки.

ВЫВОДЫ

Моделирование процессаковки плиты из прокатного слитка PR54 показало, что протяжка макросдвигами позволяет получать локальный уков в центральной зоне 4,4, что на 44 % больше, чем при ковке по классической технологии (уков 2,46). Вместе с тем выявлены и недостатки схемы: загибание заготовки, необходимость правки, наличие менее проработанных, нежели центральная часть, донной и прибыльной зон, вероятность трещинообразования при неправильном выборе зазора между бойками, возможность подъема ковочного манипулятора относительно задней оси. Вышеперечисленные недостатки можно минимизировать либо полностью устранить при правильном выборе режимаковки. Таким образом, схему протяжки плиты макросдвигами с правкой можно рекомендовать (после соответствующей проработки каждого частного случая) к внедрению на производстве.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов Л. Н. Ковка широких пластин без осадки слитков / Л. Н. Соколов, В. Н. Ефимов, М. И. Яковлев // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 2. – С. 23–24.
2. Марков О. Е. Распределение деформаций при ковке плит / О. Е. Марков, Л. Н. Соколов // Сборник науч. тр. ДГМА. – Краматорск-Славянск, 2000 г. – С. 276–278.
3. Соколов Л. Н. Анализ вариантовковки плит / Л. Н. Соколов, О. Е. Марков, С. А. Близнюк // Ресурсозберігаючі технології матеріалів машинобудуванні : зб. наук. пр. – Луганськ, 2002. – С. 109–114.
4. Соколов Л. Н. Уширение при ковке плит / Л. Н. Соколов, О. Е. Марков, В. Ю. Станков // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2000. – С. 168–170.
5. Соколов Л. Н. Распределение деформаций при ковке поковок прямоугольного сечения для схемы протяжки круг - уголок-пластина / Л. Н. Соколов, О. Е. Марков // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук. пр. – Краматорськ : ДДМА, 2001. – С. 341–346.
6. Марков О. Е. Определение напряженно-деформированного состояния для схемы протяжки круг - уголок-пластина / О. Е. Марков, Л. Н. Соколов // Застосування теорії пластичності в сучасних технологіях обробки тиском : зб. тез доповідей міжнародної наукової технічної конференції. – Вінниця, 2001. – С. 88–89.
7. Новый технологический процессковки плит / Л. Н. Соколов, Б. Е. Михайленко, Н. Н. Кузнецов, Т. А. Гребенюк // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении : сб-к науч. трудов. – Краматорск : ДГМА, 2000. – С. 171–173.
8. Сравнительный анализ вариантов изготовления поковок типа пластин / Л. Н. Соколов, О. Е. Марков, М. В. Протеняк, В. М. Олешко // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні : темат. зб. наук., пр. – ДДМА, Краматорськ, 2002. – С. 75–80.
9. А. с. 1006012 СССР, МКИ В 21 J 1/04. Способ протяжки заготовок / А. В. Котелкин, В. А. Петров, Б. О. Темкин, В. Ф. Касатонов / (СССР). – № 3286831/25-27; заявлено 13.05.81; опубл. 23.03.83, Бюл. № 11. – 2 с., ил.
10. А. с. 837530 СССР, МКИ В 21 J 5/00, J 13/02. Кузнечный боек / А. А. Мишулин, Б. С. Литвак, И. Н. Панкратов, Л. Б. Петров, Н. П. Денентерг, М. И. Яковлев, Э. С. Каган, Б. А. Деревяненко, В. Д. Двоскин (СССР). – № 2828916/25-27; заявлено 09.10.79; опубл. 15.06.81, Бюл. № 22. – 2 с., ил.
11. А. с. 829298 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Инструмент дляковки поковок типа пластин / В. Н. Трубин, С. Н. Орлов, И. С. Катков, Ю. В. Трубин, В. И. Двоенин (СССР). – № 2720202/25-27; заявлено 29.01.79; опубл. 15.05.81, Бюл. № 18. – 2 с., ил.
12. Соколов Л. Н. Распределение деформаций при ковке поковок пластин в комбинированных бойках / Л. Н. Соколов, О. Е. Марков // Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением : сб-к науч. тр. – Тула, 2001. – Ч. 1. – С. 96–101.
13. А. с. 852426 СССР, МКИ В 21 J 13/02. Кузнечный инструмент / В. О. Кононенко, А. А. Бобров, В. Г. Берец, З. П. Стрельцова, С. С. Семеняга (СССР). – № 2844667/25-27; заявлено 30.11.79; опубл. 07.08.81, Бюл. № 28. – 2 с., ил.
14. Найзабеков А. Б. Ковка поковок прямоугольного сечения / А. Б. Найзабеков, А. В. Котелкин, В. А. Петров, В. К. Воронцов, Б. О. Темкин, В. Ф. Касатонов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 10. – С. 4–6.
15. Найзабеков А. Б. Исследование процесса деформирования заготовок в специальном инструменте без существенного изменения начальных размеров / А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, А. Ж. Булебаева // Известие вузов. Черная металлургия. – 2001. – № 6. – С. 23–25.

Статья поступила в редакцию 11.11.2011 г.