

УДК 621.735.36

Марков О. Е.

## ПРОГРЕССИВНАЯ СХЕМА ПРОТЯЖКИ КРУПНЫХ ВАЛОВ ИЗ УКОРОЧЕННЫХ СЛИТКОВ

Получение высококачественных заготовок для изготовления деталей ответственного назначения – основная задача в тяжелом машиностроении. Для возможности обеспечения конкурентоспособности получаемой продукции необходимо обеспечить минимальные энерго-, материало- и трудозатраты. Особенно это относится к производству крупных поковок, которые изготавливаются ковкой слитков [1]. Поэтому необходимо пересмотреть концепцию разработки технологических процессовковки слитков для исключения энергоёмких малоэффективных кузнечных операций. Это возможно за счёт оптимизации формы заготовки дляковки, которая бы обеспечивала при меньших коэффициентах укова получение поковки требуемой формы с высоким качеством [2]. Около 90 % всех технологических процессовковки предполагают применение энергоёмкой операции осадки, которая необходима дляувеличения размеров заготовки для возможности получения требуемых размеров поковки и высоких коэффициентов укова. Однако при осадке в осевой зоне слитка возникает неблагоприятное напряженно-деформированное состояние, которое приводит к раскрытию осевой рыхлости слитка [3].

Основной дефект кузнечного слитка, который должен быть устранен операциямиковки – осевая рыхлость и пористость, образование которой в кузнечном слитке вызвано условиями кристаллизации металла. Эффективным способом заковывания осевых дефектов слитков является применение кузнечной операции протяжки, которая способствует интенсивному закрытию осевых дефектов, что не характерно для операции осадки [4]. Исключение операции осадки без увеличения сечения слитка невозможно. Решить эту задачу можно за счет применения укороченных слитков, у которых высота меньше диаметра. Укороченные слитки, у которых соотношение высоты слитка к его диаметру  $H/D < 1,2$ , характеризуются меньшей ликвацией, протяженностью осевой рыхлости и более плотным строением [5]. Применение дляковки крупных поковок укороченных слитков позволит повысить качество поковок и снизить затраты на их производство. Ковка без вспомогательной энергоёмкой операции осадки позволит повысить производительность процесса, снизить затраты энергии на деформирование и исключить один подогрев заготовки, что позволит снизить расход природного газа.

Ковка укороченных слитков может производиться за счёт применения операции протяжки, которая обеспечивает более высокую проковку литого металла. При протяжке укороченных слитков необходимо обеспечить равномерное распределение деформаций по сечению заготовки. Это возможно за счёт применения специальной формы бойков для протяжки [6]. Интенсивную вытяжку при протяжке и высокий показатель жесткости схемы напряженного состояния обеспечивает протяжка вырезными бойками (рис. 1, а), однако этот инструмент не является универсальным и требует частой замены для получения уступов вала или при ковке поковок другой формы. Это снижает производительность процессаковки, увеличивает трудоемкость, количество нагревов и смен инструмента. Более универсальным кузнечным инструментом являются плоские бойки, которые применимы дляковки различных типов поковок как по форме, так и по размерам без смены инструмента. Применимость их дляковки валов возможна при использовании схемыковки через квадрат, восьмигранник на круг (рис. 1, б). Эта схемаковки обеспечивает высокую проработку центральных слоев слитка, получение высокой точности размеров поковки и исключение искривления поковки, как в случае применения комбинированных бойков [7].

Цель работы – определить прогрессивную схемуковки валов с использованием операции протяжки укороченных слитков, которая обеспечивала бы высокое и равномерное распределение деформаций и закрытие осевых дефектов.

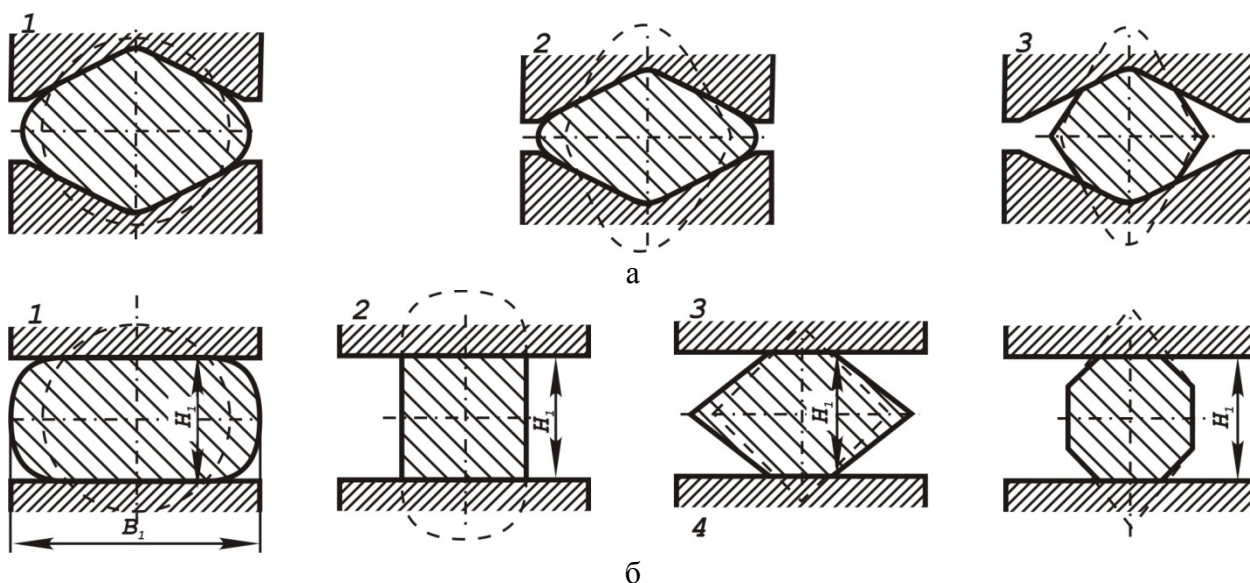


Рис. 1. Схемы ковки валов протяжкой в вырезных бойках (а) и плоских бойка через квадрат и восьмигранник (б)

Для исследования выбран метод конечных элементов. Моделирование производилось в программе Deform-3D (временная лицензия каф. ОМД ДГМА). Материал заготовки 34ХНМ, диаметр 2000 мм, длина 1000 мм. Температура начала ковки 1200 °С. Осевая пористость слитка моделировалась осевым отверстием, которое составляло 10 % от диаметра заготовки. Угол вырезных бойков – 135°. Ковка заготовок для двух схем деформирования производилась до диаметра 1265 мм, что обеспечивало уков 2,5 для возможности оценки влияния формы бойков на напряженно-деформированное состояние и заковывание осевого дефекта. По результатам моделирования определялся показатель жесткости схемы напряженного состояния ( $П\sigma$ ) в осевой зоне, неравномерность распределения деформаций по диаметру поковки ( $\Delta e = e_{\max} - e_{\min}$ ).

На рис. 2 представлены результаты распределения интенсивности логарифмических деформаций после обжатия на 20 % (рис. 2, а, б), после обжатия и кантовки на 90° (рис. 2, в, г) и после ковки до диаметра 1265 мм (рис. 2, д, е) для схем ковки вырезными и плоскими бойками. Полученные результаты показывают, что после обжатия на 20 % происходит неравномерное закрытие дефекта по длине заготовки – в средней по длине зоне дефект закрылся на 90 %, а ближе к прибыльной части на 10–15 % (рис. 2, а, б). Это вызвано возникновением максимальных деформаций в осевой зоне на уровне середины ширины бойка. Напротив, зоны, которые контактируют с инструментом, остаются недеформированными, что и обеспечивает в этом сечении максимальную неравномерность деформаций.

При этом для схемы ковки вырезными бойками неравномерность распределения деформаций выше, чем для плоских бойков, что подтверждается площадью очага деформации в продольном сечении с одинаковой величиной ( $\approx 0,4$ ). Для схемы ковки плоскими бойками площадь очага деформации составляет  $\approx 80$  %, а для схемы ковки вырезными  $\approx 20$  % (рис. 2, б, а соответственно). Для рассматриваемых схем ковки общим является возникновение значительных деформаций в донной половине заготовки, чем в прибыльной части. Это объясняется тем, что обжатие прибыльной половины способствует закрытию дефекта, а не деформированию металла заготовки.

Дальнейшая ковка проходами с кантовкой на 90° (рис. 2, в, г) способствует полному закрытию дефекта на всей длине тела слитка, за исключением прибыльной части слитка, которая не деформируется. Схема ковки плоскими бойками (рис. 2, г) отличается более высоким уровнем деформаций в осевой зоне, что подтверждает большее выдавливание осевой донной части слитка.

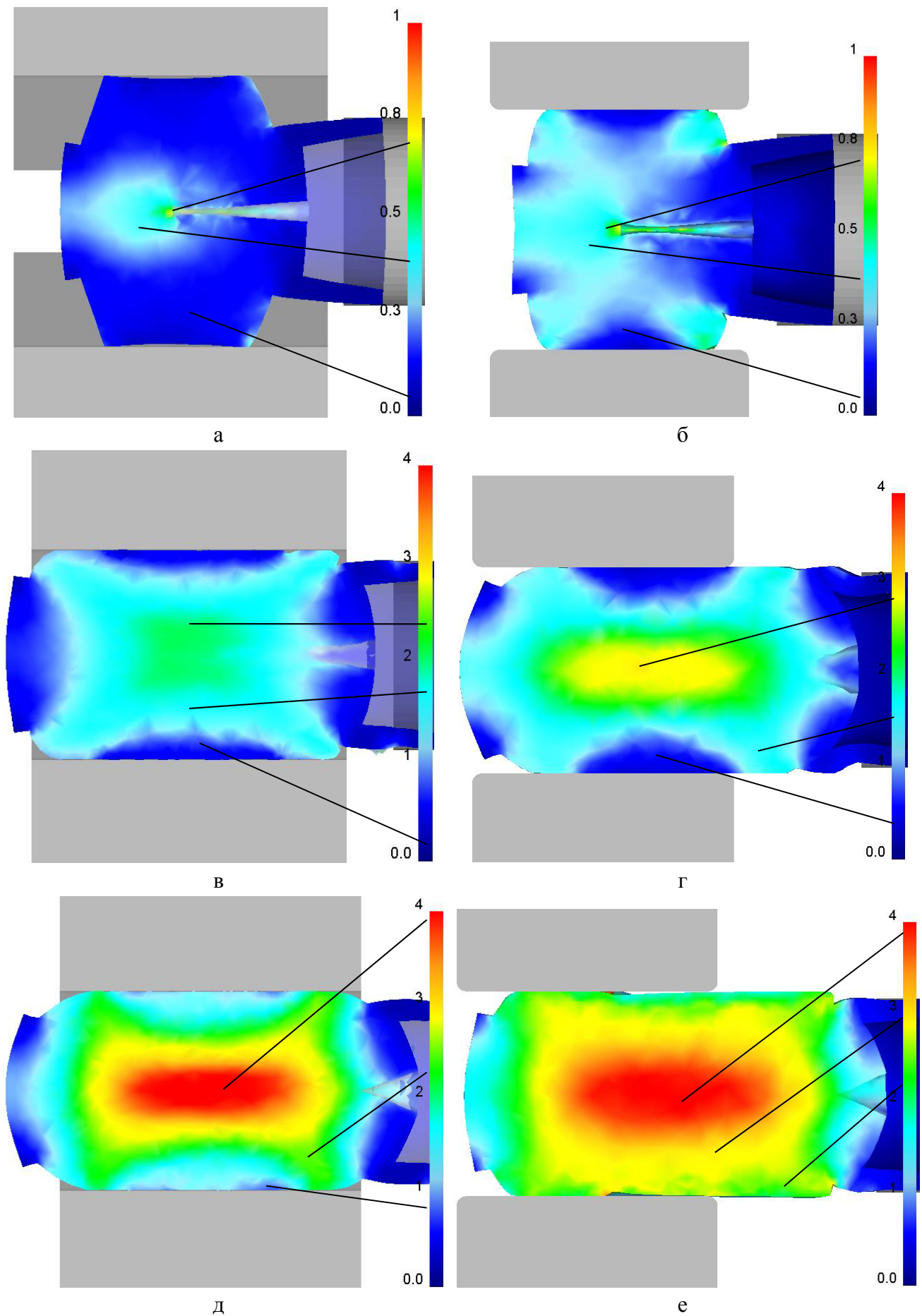


Рис. 2. Распределение интенсивности деформаций в продольном сечении заготовки при ковке вырезными (а, в, г) и плоскими бойками (б, г, е)

При этом ширина недеформированной зоны, контактирующей с инструментом меньше, а глубина больше, чем для схемыковки вырезными бойками. В целом площадь недеформированной зоны в продольном сечении для двух схемковки примерно одинакова, но при ковке плоскими бойками деформации возникают и в донной части слитка (рис. 2, г).

Данная тенденция сохраняется вплоть до последнего прохода (рис. 2, д, е). Важным отличием схемыковки плоскими бойками – больше площадь деформированного металла с высоким уровнем деформации (рис. 2, е). Полученные результаты позволяют констатировать тот факт, что схемаковки плоскими бойками обеспечивает более равномерное распределение деформаций высокого уровня в теле заготовки, чем схемаковки вырезными бойками.

Количественная оценка распределения интенсивности накопленной деформации по диаметру (рис. 3, а) доказывает, что максимальные деформации возникают в осевой зоне заготовок для этих схемковки, величина их примерно 4,1 единицы. Однако деформации на периферии поковки выше для схемыковки плоскими бойками (примерно 1,8 единиц, линия 2), что обеспечивает получение в этом случае более равномерного распределения деформаций (рис. 3, а), чем для схемыковки вырезными бойками (примерно 1,0, линия 1). Для схемыковки вырезными бойками неравномерность деформаций  $\Delta e \approx 3,0$ , а для схемыковки плоскими бойками  $\Delta e \approx 2,0$ . Это позволяет сделать вывод, что схемаковки плоскими бойками обеспечивает более высокий уровень накопления деформаций в теле заготовки с меньшей неравномерностью. Что объясняется меньшей вытяжкой при протяжке за счет уширения металла при ковке плоскими бойками, а, следовательно, большим количеством проходов, обжатий и кантовок, что обеспечивает накопление деформаций в теле заготовки для получения требуемого сечения. При ковке плоскими бойками количество проходов примерно на 25–30 % больше, чем при ковке вырезными бойками для получения поковки одинакового сечения (рис. 3, б).

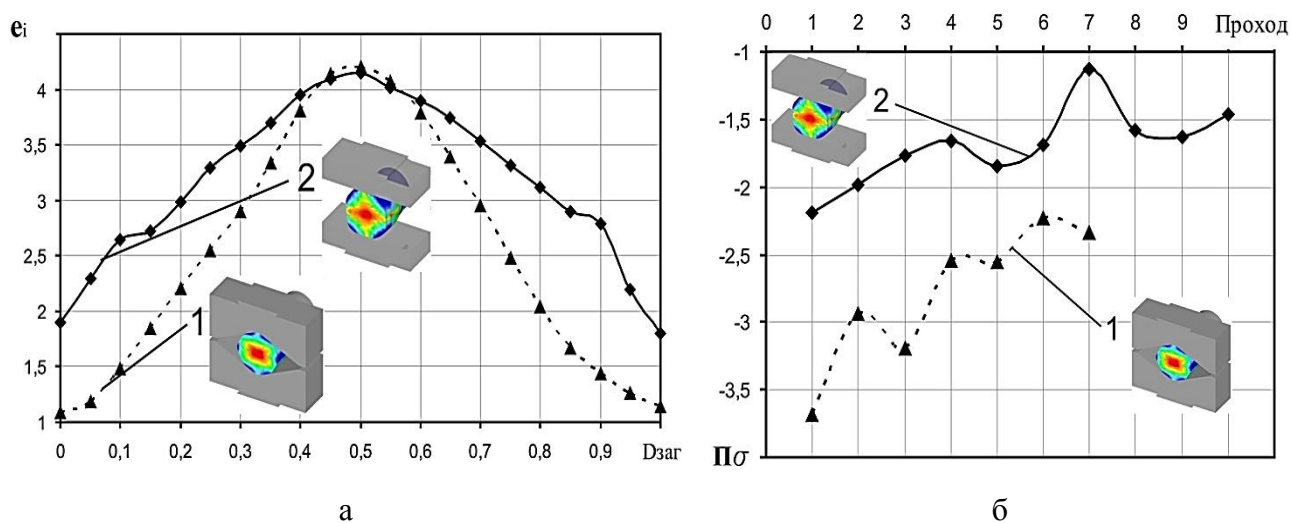


Рис. 3. Неравномерность распределения деформаций по диаметру заготовки (а) и показателя схемы напряженного состояния в осевой зоне (б)

На рис. 3, б представлено изменение показателя жесткости схемы напряженного состояния  $\Pi\sigma$  в зависимости от числа проходов. Схемаковки вырезными бойками обеспечивает более жесткую схему напряженного состояния в осевой зоне заготовки, чем протяжка плоскими бойками (рис. 3, б), что не противоречит известными в литературе данным [6]. Однако знак показателя  $\Pi\sigma$  подтверждает тот факт, что и при протяжке плоскими бойками в осевой зоне также возникает состояние неравномерного всестороннего сжатия. Разница показателя  $\Pi\sigma$  для двух схем обуславливает отставание степени закрытия осевого дефекта, которые для случаяковки плоскими бойками обеспечивает закрытие дефекта при обжатии на

5 % больше, чем для вырезных бойков (рис. 2, а и б). Снижение жесткости схемы напряженного состояния с увеличением числа проходов объясняется уменьшением степени обжатия на последующих проходах. Как отмечалось выше, число проходов при ковке плоскими бойками будет больше (рис. 3, б), что снизит производительность, но снизит при этом усилие деформирования по сравнению с ковкой по закрытой схеме в вырезных бойках. Повысить производительность процессаковки плоскими бойками можно за счет выбора эффективных величин обжатий и подач заготовки. Основное преимущество схемыковки плоскими бойками – возможность накопления деформаций в теле заготовки без существенного изменения площади поперечного сечения. Дальнейшие исследования необходимо направить на поиск эффективных термомеханических режимовковки и повышения площади очага продеформированного металла заготовки.

## ВЫВОДЫ

Схемыковки вырезными и плоскими бойками обеспечивают в осевой зоне состояние неравномерного всестороннего сжатия, которое обеспечивает закрытие осевого дефекта диаметром 10 % от диаметра заготовки при обжатии на 25 и 30 % соответственно. Ковка плоскими бойками обеспечивает более равномерное распределение деформаций по сечению заготовки, чем ковка вырезными бойками. При этом уровень накопленных деформаций в периферийной зоне заготовки на 1 единицу выше, чем в случае протяжки вырезными бойками. Центральные слои имеют одинаковую степень накопленных деформаций, но для плоских бойков площадь продеформированного металла больше. Схемаковки плоскими бойками обеспечивает возможность накопления деформаций в теле заготовки без значительного изменения площади поперечного сечения. Проведенные исследования позволяют сделать вывод об эффективности схемыковки валов плоскими бойками через квадрат и восьмигранник, по отношению к схемековки вырезными бойками.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюрин В. А. *Инновационные технологииковки с применением макросдвигов* / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2007. – № 11. – С. 15–20.*
2. Тюрин В. А. *Инновационные технологииковки* / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2006. – № 5. – С. 27–29.*
3. Марков О. Е. *Внедрение энергосберегающего технологического процессаковки крупных слитков без осадки* / О. Е. Марков, В. М. Олешко, В. Н. Злыгорев, И. А. Грачев // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2011. – № 10. – С. 33–36.*
4. Марков О. Е. *Изменение размеров осевых дефектов при осадке заготовок* / О. Е. Марков // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 4 (29). – С. 103–110.*
5. *О механизме возникновения химической неоднородности в стальном слитке* / В. А. Вишняков, Н. М. Данилов, В. Д. Дементьев, О. В. Трифионов // *Известия вузов. Чёрная металлургия. – 1977. – № 2. – С. 35–39.*
6. Тюрин В. А. *Разновидности процессов кузнечной протяжки* / В. А. Тюрин // *Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2009. – № 9. – С. 5–8.*
7. Каргин С. Б. *Теоретический анализ напряженно-деформированного состояния слитка при ковке на трехлепестковую заготовку* / С. Б. Каргин, О. Е. Марков, В. В. Кухарь // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 1 (26). – С. 17–21.*

Марков О. Е. – канд. техн. наук, доц., докторант каф. ОМД ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

E-mail: oleg.markov.omd@mail.ru