УДК 621.73

DOI: 10.35211/1990-5297-2021-2-249-45-49

*Д. Н. Гурулев, Л. В. Палаткина***РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТОКА МЕТАЛЛА КОЛЬЦЕВОЙ ЗАГОТОВКИ
ПРИ РАСКАТКЕ В ВЫРЕЗНЫХ БОЙКАХ****Волгоградский государственный технический университет**

e-mail: rct2005@yandex.ru

В работе показано, что рациональность раскатки зависит от характера течения металла в очаге деформации, а одни и те же схемы течения металла, эффективные для конкретного расположения элементов макроструктуры относительно главных характеристик потоков, могут оказаться даже вредными для других случаев.

Ключевые слова: деформация, ковка, оправка, раскатка узким бойком, форма бойка, кольцевая поковка.

*D. N. Gurulev, L. V. Palatkina***DISTRIBUTION OF THE METAL FLOW OF THE ANNULAR
BILLET DURING ROLLING IN CUT-OUT STRIKERS****Volgograd State Technical University**

It is shown that the rationality of rolling depends on the nature of the metal flow in the deformation zone, and the same metal flow patterns that are effective for a specific location of the macrostructure elements relative to the main characteristics of the flows may even be harmful for other cases.

Keywords: deformation, forge, mandrel, rolling with a narrow striker, metal, striker shape, forged ring, forging.

Введение

В кузнечном производстве раскатка применяется для получения кольцевых поковок, которые находят широкое применение в энергетическом и атомном машиностроении. По техническим условиям и установившейся практике крупные поковки колец изготавливают с применением операций осадки, прошивки и раскатки бойком на оправке. Технологическая схема получения кованых колец содержит две основные операции, определяющие преобразование макроструктуры слитка под действием пластической деформации: осадку и раскатку [1–10]. Наиболее ответственной операцией с точки зрения качества готовой поковки является раскатка, которая сопровождается увеличением длины окружности заготовки за счет сокращения толщины кольца. Эта операция сопровождается увеличением длины окружности заготовок за счет сокращения толщины кольца; отличие раскатки от кузнечной однопроходной протяжки плоскими бойками (при которой также ставится цель увеличения длины заготовки) состоит в несимметричном течении металла по контактным поверхностям, обусловленным различием геометрии оправки и бойка. При раскатке плоским бойком поковок из малопластичных сплавов, появляющиеся трещины свидетельствуют о наличии значительных растягивающих напряжений и деформаций.

Растягивающие напряжения действуют перпендикулярно приложенной нагрузке, причем зона их действия и абсолютные значения максимальны при небольших обжатиях.

Раскатка плоским бойком протекает в условиях действия растягивающих напряжений от начального момента обжатия, до некоторой степени деформации, меньшей 5 %. Если применить раскатку ромбическим бойком, то на всех стадиях она протекает только в условиях напряженного всестороннего сжатия. При этом, более жесткая схема напряженного состояния всестороннего сжатия обеспечивается с уменьшением угла выреза ромбических бойков. Так, при угле выреза 110° схема более жесткая, чем при углах выреза 135° и 150°. Однако, в данном случае очаг деформации вблизи оправки незначителен, а сама заготовка подвергается изгибающим нагрузкам от раскаточного бойка.

В работах [11–15] показано, что основной задачей получения качественных крупных поковок с интенсивно и равномерно по сечению проработанной структурой является создание в очаге деформации напряженного состояния объемного неравномерного сжатия с высоким уровнем гидростатического давления. При этом создаются наилучшие условия для заковки внутренних дефектов литейного происхождения и исключается возможность образования внутренних разрывов ковочного характера.

Большое значение при раскатке имеет схема течения пластических потоков металла, под которой понимают совокупность потоков металла в макроочаге деформаций. При этом различают геометрический (ограниченный контактами) и физический очаги деформации. Последний это и есть макроочаг. Макроочаг деформаций – объем всего участка обжимаемой заготовки, претерпевающий деформационные перемещения. Поток металла при раскатке может быть:

- предписанный, который обусловлен кинематикой деформирующего инструмента и его деформационным воздействием на заготовку;
- потоком вытеснения, который появляется вследствие несжимаемости деформируемого металла;
- потоком утягиваемого металла, обратным потоку вытеснения.

Совокупность указанных потоков образует схему пластического течения металла. Схема пластического течения характеризуется общим количеством макропотоков металла, направлением потоков (их соотношением и комбинацией), дробностью и относительной величиной пути трения на поверхностях контакта с инст-

рументом. Для литых заготовок эффективность схем пластического течения необходимо рассматривать в связи с макростроением металла. Одни и те же схемы течения металла, эффективные для конкретного расположения элементов макроструктуры относительно главных характеристик потоков, могут оказаться даже вредными для других случаев. Таким образом, рациональность раскатки зависит от характера течения металла в очаге деформации, а, следовательно, исследование потокораспределения металла при раскатке является актуальной задачей [16–19].

Материалы и методы исследования

Исследования потокораспределения металла при раскатке проводили на свинцовых цилиндрических образцах, которые подверглись деформации по схеме: осадка – прошивка – раскатка. Для экспериментального моделирования кузнечной операции раскатки поковок ответственного назначения была специально разработана универсальная оснастка (рис. 1, а) с набором сменных бойков с разной формой рабочей поверхности.

Рис. 1. Универсальная оснастка (а) и ориентация образцов в теле поковки (б):
1 – диск поковки; 2 – пластина; 3 – средняя сторона пластины; 4 – радиус диска поковки; 5 – испытательные образцы

Для раскатки использовали плоский и вырезной боек, причем с целью определения рационального угла выреза бойка и единичного обжатия при раскатке был проведен анализ влияния угла выреза бойка на распределение интенсивности деформаций в раскатанной кольцевой заготовке. Для этого из раскатанной заготовки вырезали пластины из которых были изготовлены по четыре образца, ориентирован-

ных через 30° . В плоскости, перпендикулярной продольной оси поковки, образцы изменяют ориентацию от радиального до тангенциального направления, а образцы, лежащие в плоскости продольной оси поковки – от перпендикулярного к этой оси направления до осевого. Положение каждого образца в объеме поковки фиксировалось относительно радиуса сечения величиной двух углов: α в поперечной (ради-

альной) и γ в продольной (осевой) плоскостях. Относительно элементов макроструктуры образцы, расположенные в плоскости, перпендикулярной продольной оси структуры слитка, изменяют свою ориентацию от радиальной до тангенциальной, а образцы, лежащие в плоскости продольной оси структуры - от радиальной до продольной (рис. 1, б).

Результаты и их обсуждение

Распределение интенсивности местных деформаций f по толщине кольца (у бойка, в середине толщины поковки, у оправки) в зависимости от угла выреза α представлено на рис. 2. Трехмерный график построен для степеней об-

жатия заготовки $\varepsilon_{OH} = 10\%$ и 30% , который подтверждает преимущественный рост интенсивности деформации в объеме заготовки расположенной у оправки [5].

Каждый график относится к одной из трех характеристик зон по толщине обжимаемого кольца: у бойка, на середине толщины кольца, у оправки. На распределение деформаций вблизи бойка большее влияние оказывает степень деформации, в средней части толщины кольца заметнее проявляется деформационное воздействие различной формы инструмента при степени обжатия $\varepsilon_{OH} > 10\%$, а вблизи оправки – при всех степенях обжатия отмечается влияние геометрии раскаточного инструмента.

Рис. 2. Распределение интенсивности деформаций f по толщине кольцевой поковки в зависимости от угла выреза бойка α и степени деформации 10% (а) и 30% (б)

Деформированное состояние металла при единичном обжатии также зависит от угла выреза раскаточного бойка (от 110° до 180°). Так, интенсивность местной, деформации у заготовки обжатой бойком с углом выреза 135° составляет 128 ед.; максимальная интенсивность деформаций у образца, обжатого плоским бойком (угол выреза 180°) – 67 ед. С уменьшением угла выреза обжимающего бойка зона наибольших местных деформаций смещается к оправке. Причем, с увеличением степени обжатия интенсивность деформации металла вблизи оправки растет в большей мере, чем вблизи бойка. Величина угла выреза бойка наиболее заметно влияет на интенсивность местных деформаций в области половины толщины кольца.

По этим рисункам можно определить оптимальные соотношения угла выреза раскаточного бойка и степени единичного обжатия для проработки заданной зоны кольца. Так, объем кольцевой заготовки вблизи бойка удастся проработать плоским бойком лишь при степени единичного обжатия $\varepsilon_{OH} = 30\%$. Бойки с углом выреза 135° и 150° обеспечивают аналогичную сте-

пень проработки металла при обжатии в 1,5 раза меньше, а применение бойка с углом выреза 110° дает возможность увеличить проработку металла в этой области заготовки при снижении степени обжатия в 3 раза ($\varepsilon_{OH} = 10\%$).

Предписанное сжатие металла в направлении внешнего усилия при раскатке плоским бойком вызывает вытеснение металла по направлениям Q и Q' (рис. 3, а). Типичная схема напряженного состояния с растягивающими горизонтальными компонентами напряжений, характерная для обжатия круглой заготовки плоскими бойками, осуществляется в условиях значительного «подпора» внешних не деформируемых зон В. Следствием этого является появление потоков металла Q'' , перпендикулярных меньшей стороне контактной поверхности. Однако потоки локализованы в приконтактных объемах очага деформации и могут вызвать дополнительные растягивающие напряжения, действующие вдоль оси оправки по середине толщины заготовки. Появление растягивающих напряжений в горизонтальном направлении вызвано действием потоков вытеснения Q (см. тот же рисунок).

Рис. 3. Потoki пластического течения металла при раскатке кольцевых заготовок плоским (а), вырезным (б) и с ломанным фронтом (в) бойками

Процесс раскатки вырезным ромбическим бойком протекает в условиях расчленения течения металла под верхним инструментом (рис. 3, б). При этом меняется и структура потоков металла. Встречное течение металла в вырез бойка позволяет отнести эти потоки по характеру напряженного состояния к потокам, действующим у контактной поверхности с оправкой. Таким образом, интенсификация течения металла под вырезным бойком произошла не за счет простого увеличения очагов деформации, действующих одновременно: у верхнего бойка почти полностью исчез поток вытеснения, сохранившийся (показан штриховой стрелкой) только у оправки.

Регулирование потоков вытеснения, развитых под раскаточным бойком (вызывающих появление растягивающих напряжений) можно провести, изменив их направление относительно направления раскатки. Ломаный фронт бойков (рис. 3, в) позволяет достигнуть встречного направления потоков вытеснения, изменив их характер аналогично потокам Q' . Уменьшение общей ширины контактной поверхности под верхним инструментом приводит к почти одинаковому уширению у оправки и у бойка.

Заключение

Таким образом, применение вырезного бойка для раскатки кольцевых заготовок на оправке дает возможность не только предотвратить ухудшение качества металла за счет ликвидации растягивающих напряжений в средней части толщины заготовки, но и обеспечить луч-

шую деформационную проработку в области, прилегающей к бойку. Этот деформационный эффект позволяет сократить степень обжатия на осадке, предшествующей раскатке, которая обычно назначается с целью проработки литой структуры, мало изменяемой при раскатке плоским бойком.

Исследованное распределение потоков при раскатке влияет на различные участки по толщине заготовки неодинаково в связи с особенностями строения исходного слитка: в частности, металл, расположенный вблизи оправки, содержит наибольшее число элементов ликвации – как внеосевой, так и возможных остатков осевой. Поэтому дополнительное течение металла вблизи оправки способствует улучшению проработки структуры.

Таким образом, применение вырезного бойка для раскатки кольцевых заготовок дает возможность не только предотвратить ухудшение качества металла за счет ликвидации растягивающих напряжений в средней части толщины заготовки, но и обеспечить лучшую деформационную проработку в области, прилегающей к бойку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Охрименко, Я. М. Исследование процесса раскатки вырезным бойком / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, А. И. Мохов, С. Д. Варанов // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, 1975. – № 5. – С. 111–113.
2. Мохов, А. И. Повышение качества деформированного металла при ковке крупных поковок валов / А. И. Мохов, В. С. Максимук, А. Ю. Петунин, С. И. Данилин // Кузнечно-штамповочное производство, 1995. – № 5. – С. 5–7.

3. Соколов, Л. И. Технологические приемы, обеспечивающие проработку осевой зоны крупного слитка / Л. И. Соколов, В. С. Пестов, В. Н. Ефимов и др. // Кузнечно-штамповочное производство, 1985. – № 2. – С. 25–27.

4. Антощенко, Ю. М. Ковка поковок из слитков / Ю. М. Антощенко, В. А. Тюрин, В. П. Барсуков. – М. : ЭПИ МИСиС, 2006. – 380 с.

5. Гурулев, Д. Н. Влияние формы бойка на деформированное состояние металла при раскатке кольцевой заготовки / Д. Н. Гурулев, Л. П. Палаткина // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 6 (201) / ВолгГТУ. – Волгоград, 2017. – (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). – С. 69–72.

6. Алтыкис, А. В. Оптимизация режимов протяжки поковок комбинированными бойками / А. В. Алтыкис, М. М. Колосков, В. А. Назарьян // Кузнечно-штамповочное производство. – 1973. – № 8. – С. 3–8.

7. Балуев, С. А. Влияние формы слитка и технологии коки на качество поковок валов / С. А. Балуев, В. А. Тюрин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 1. – С. 7–10.

8. Белова, Л. П. Исследование процессаковки крупных поковок роторов / Л. П. Белова, А. Н. Дубков, Н. Ф. Делягина, Е. К. Горвая // Кузнечно-штамповочное производство. – 1985. – № 1. – С. 5–7.

9. Белова, Л. П. Ковка больших сечений / Л. П. Белова, А. Н. Дубков // Кузнечно-штамповочное производство. – 1984. – № 11. – С. 8–9.

10. Веретенников, Э. В. Исследование деформированного состояния заготовок валов при протяжке вырезными бойками / Э. В. Веретенников // Кузнечно-штамповочное производство. – 1979. – № 8. – С. 5–7.

11. Дзугутов, М. Я. Пластическая деформация высоко-

колегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – М. : Металлургия, 1971. – 424 с.

12. Дзугутов, М. Я. Пластичность и деформируемость высоколегированных сталей и сплавов / М. Я. Дзугутов. – М. : Металлургия, 1990. – 303 с.

13. Мохов, А. И. Повышение качества деформированного металла при ковке крупных поковок валов / А. И. Мохов, В. С. Максимук, А. Ю. Петунин, С. И. Данилин // Кузнечно-штамповочное производство. – 1995. – № 5. – С. 5–7.

14. Онищенко, А. К. Исследование термомеханических режимов протяжки и структуры поковок роторов / А. К. Онищенко, Э. В. Веретенников // Кузнечно-штамповочное производство. – 1977. – № 3. – С. 18–19.

15. Охрименко, Я. М. Исследование деформированного состояния в очаге деформации при протяжке вырезными бойками / Я. М. Охрименко, В. С. Максимук, Н. Т. Просвилов // Известия ВУЗов. Черная металлургия. – 1970. – № 3. – С. 109–114.

16. Охрименко, Я. М. Напряженное состояние при протяжке вырезными бойками / Я. М. Охрименко, В. С. Максимук // Кузнечно-штамповочное производство. – 1971. – № 5. – С. 1–5.

17. Охрименко, Я. М. Возможность повышения качества поковок при протяжке / Я. М. Охрименко, В. А. Тюрин, А. И. Гринюк // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 11. – С. 8–9.

18. Позняк, Л. А. Штамповые стали / Л. А. Позняк, Ю. М. Скрынченко, С. И. Тишаев. – М. : Металлургия, 1980. – 244 с.

19. Тюрин, В. А. Интенсификация деформационной проработки металла при ковке в вырезных бойках / В. А. Тюрин, В. А. Куликов // Кузнечно-штамповочное производство. – 1988. – № 5. – С. 2–3.