

Явление обратных ударов после выброса также связано с износом сочленений и зазорами. Его можно использовать с целью диагностирования технического состояния линии привода. Признаком являются периоды между всплесками ударов. Измерения показывают, что на удары при выбросе полосы реагируют вибродатчики, установленные на корпусе редуктора. По их показаниям можно определять периоды T_1 и T_2 , поскольку штатные измерители момента на станах отсутствуют.

Описанные выше явления не только интересны с целью их познания. Обратные удары представляют собой дополнительную нагрузку, которая при прочностных расчетах и на долговечность оборудования ранее не учитывались.

Выводы. При захвате и выходе полосы из валков в линии привода ряда клетей формируются обратные удары соизмеримые с моментом в установившемся режиме прокатки. Вид переходных процессов заметно изменяется, а уровень обратных ударов увеличивается с износом сочленений и развитием зазоров. Уровень ударов следует учитывать при расчетах на прочность и долговечность оборудования. Периоды колебаний между двумя первыми пиками момента при захвате полосы, а также между ударами после выброса полосы из валков могут быть использованы в диагностических целях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Веренев В. В. Снижение динамических нагрузок и диагностики широкополосных станов в переходных режимах / В. В. Веренев. – Никополь : СПД Фельдман О. О., 2014. – 203 с.
2. Диагностика и динамика прокатных станов / В. В. Веренев, В. И. Большаков, А. Ю. Путноки и др. // Днепропетровск. – ИМА-пресс. – 2007. – 144 с.
3. Большаков В. И. Технологические нагрузки листопрокатных станов / В. И. Большаков // «Динамика металлургических машин». – Труды Института черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины. – М. : Металлургия. – 1969. – Т. XXXI. – С. 5–13.

УДК 621.771.01

ЕРШОВ С. В., д.т.н., профессор
ВУ КАЙМИН, Ph.D., профессор
ГРЕСС А. В., д.т.н., профессор
ИСАЕВ О. Б, д.т.н., профессор
СЯ ТАО, ассистент профессора

Уханьский университет науки и технологии, г. Ухань, Китай

ИССЛЕДОВАНИЕ СУЩЕСТВУЮЩИХ РЕЖИМОВ ОБЖАТИЙ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ОСЕЙ

Введение. Оси вагонов железнодорожного транспорта относятся к изделиям, к качеству которых предъявляются повышенные требования. Эти требования обусловлены тяжелыми условиями их эксплуатации в условиях широкого диапазона температур и знакопеременными деформациями осей во время движения пассажирских или грузовых поездов. Кроме этого, требования надежности постоянно растут в связи с непрерывным увеличением скорости движения современных поездов [1].

Постановка задачи. В настоящее время существует несколько способов производства железнодорожных осей. Первый – этоковка изделий, а второй – это поперечно-винтовая прокатка. Общим требованием ко всем технологиям является обеспечение

возможности получения суммарного трех-четырёх кратного укова заготовки. Одним из примеров удачного использования ковки является способ, описанный в работе [2]. Основным недостатком использования кузнечного способа получения железнодорожных осей является малая производительность данного процесса. К преимуществам относятся возможность упрощения технологического цикла. Второй способ более сложный, но имеет более высокую производительность и дает возможность при отлаженной технологии производить продукцию, не уступающую по качеству первому способу [3, 4].

В нашей работе остановимся только на 2 способе. В соответствии с этим способом прокатка производится на трехвалковом стане поперечно-винтовой прокатки с обжатием исходной заготовки в процессе прокатки по всей длине, причем, прокатку на разных участках профиля ведут с подпором или натяжением [5]. В качестве заготовки используется круглый подкат, получаемый прокаткой на обжимном и заготовочном станах с одного нагрева слитка.

Использование в качестве исходной заготовки слитков, а не непрерывно-литого металла обусловлено необходимостью хорошей проработки внутренней структуры металла в условиях прокатного производства.

В настоящее время существуют работы [6, 7], результаты которых показывают, что для существенного влияния на качество структуры металла необходимо обеспечить степень деформации не менее 15–25 %. Вместе с этим, существуют и работы, например, работа [8-11], которые показывают о недостаточности этих степеней деформации для качественной проработки структуры. Здесь считают, что необходимы степени деформации порядка 30–60 %.

Так же существует множество работ, посвященных вопросам прокатки на обжимных и заготовочных станах [12-14]. Результаты этих работ показали, что для получения качественного проката из различных марок сталей, необходимо применение специальных режимов обжатий. Так, например, для прокатки сталей, склонных к образованию поверхностных трещин, необходимы частые кантовки и небольшие обжатия [14]. Для получения продукции с хорошо проработанной структурой необходимы большие обжатия. При этом, большое значение имеет вид применяемых схем деформации [15].

Оси вагонов подвижного состава для эксплуатации в США и Канаде изготавливаются по стандарту M101. В соответствии с этими требованиями размер зерна, измеренный в соответствии с ASTM Standard Method E112 должен быть не менее 5 балла. При этом структура должна быть равномерной по сечению с максимальной разницей размеров, не превышающей 2 балла.

Одним из самых сложных требований является требование, касающееся равномерности структуры металла по сечению готовой оси. Другой значительной проблемой является обеспечение такой проработки структуры металла, которая была-бы достаточна для успешного прохождения осевой заготовкой ультразвукового контроля качества. Анализ производственных данных показал, что на дополнительную термообработку направляется до 48 % черновых заготовок для осей, а количество окончательно отбракованных осей достигает 17 %. Кроме этого, существуют проблемы и с механическими свойствами. Так, по производственным данным, на некоторых плавках количество брака по механическим свойствам достигало 30 %.

Приведенные данные показывают, что выполнение жестких требований стандарта M101 в условиях многостадийного производства (рис. 1) является сложной задачей, решение которой методом проб и ошибок в производственных условиях практически невозможно из-за высокой стоимости проведения даже оптимизированного планируемого эксперимента.

Кроме описанных проблем есть и проблемы чисто научного характера, которые не позволяют однозначно ответить на вопрос оптимального построения технологии.

Анализ показал, что в настоящее время тяжело ответить на вопрос о том, на каком этапе технологического цикла необходимо осуществлять нужные деформации и какого вида эти деформации должны быть.

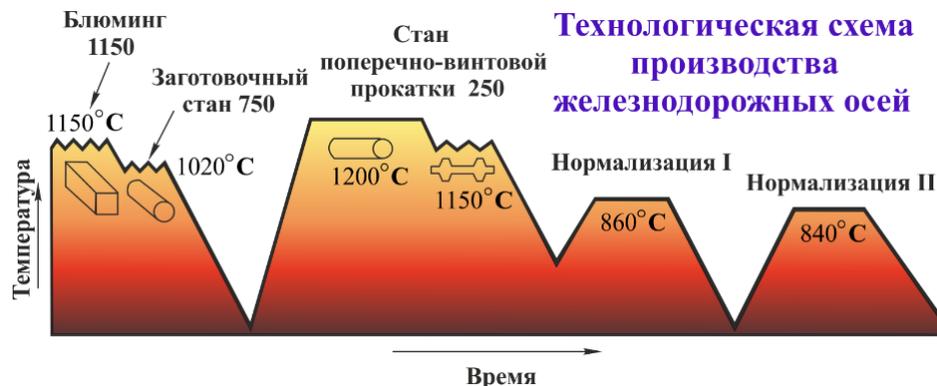


Рисунок 1 – Схема производства осей на Днепровском металлургическом комбинате

Открытым остается и вопрос о том каким способом нужно деформировать металл для того чтобы деформация проникла к нужным частям заготовки. Этот вопрос напрямую связан с наличием знаний о видах напряженно-деформированного состояния металла при использовании различных систем калибров при прокатке профилей.

Анализ различных схем производства профилей показывает, что в этом вопросе отсутствует окончательная ясность, а калибры строятся по различным правилам [16]. Как показали наши ранние исследования, даже не очень значительные изменения формы калибров приводят к существенному изменению напряженно-деформированного состояния металла [17]. Следовательно, при прокатке в таких калибрах качество продукции будет разным.

В существующей литературе к настоящему времени имеется в основном только описание практического опыта использования тех или иных схем деформации. Существуют отдельные интересные работы в этом направлении [18], носящие фундаментальный характер, но их количество невелико и исследованные схемы деформации немногочисленны.

В связи с этим решено провести исследование, касающееся вопроса распределения деформаций между проходами при производстве цельных осей подвижного состава железнодорожного транспорта.

Результаты работы.

Анализ производственного процесса показал, что реально в технологической цепочке есть только одно место, где можно существенно повлиять на проработку структуры центральных участков оси – это обжимной стан.

В связи с этим было решено провести комплексный анализ существующих режимов обжатий слитка при прокатке на обжимном стане Днепровского металлургического комбината (Украина). Слиток имел следующие геометрические размеры - 712×800/608×695 мм. Для анализа использовали 4 режима обжатий, применяющихся при производстве заготовки 290×290 мм для последующего получения круглой заготовки диаметром 250 мм под прокатку на осепрокатном стане.

При исследовании использовались калибры, приведенные на рис. 2.

Режимы № 1 и № 4 – это основные режимы, которые чаще всего используются на комбинате. Режим № 1 используется для минимизации износа промежуточного ящичного калибра. Основное отличие между режимами № 1 и № 4 состоит в том, что режим №4 используется, когда необходимо снизить износ чистового ящичного калибра

за счет уменьшения обжатий в нем. Режим № 4 – это наиболее часто используемый режим при производстве осей. Режим № 2 используется крайне редко в случае, если нужно сократить число проходов и увеличить производительность стана. Режим № 3 используется для усиленной проработки структуры металла за счет большого обжатия в последнем калибре и уменьшения износа промежуточного ящичного калибра за счет сокращения обжатий в нем. В дальнейшем основное внимание уделим режимам № 2 и № 3, так как практика использования режимов № 1 и № 4 показала отсутствие стабильности получения нужных параметров качества структуры металла готовых осей.



Рисунок 2 – Калибры, использовавшиеся при исследовании

Предварительный анализ режимов обжатий показал, что они отличаются друг от друга распределением обжатий и кантовок по проходам. Общим для этих режимов является только режим кантовок в первых шести проходах. При этом, в первых шести проходах прокатка для всех режимов ведется на гладкой бочке. Остальные проходы могут осуществляться в ящичном калибре или на гладкой бочке.

При прокатке в первых шести проходах обжатия для всех режимов прокатки распределены примерно одинаково. Отличие составляет не более 10 мм. В то же время, для следующих проходов обжатия могут отличаться значительно. Так, если для режима обжатий № 1 величина обжатия в проходах 7–10 составляет 50–70 мм, а для режима № 4 – 80–90 мм, то для режима обжатий № 2 обжатия для этих же проходов изменяются от 20 до 160 мм с промежуточной кантовкой. Подобная картина характерна и для режима обжатий № 3, где обжатия изменяются от 27 до 85. Сравнение величин обжатий для всех режимов и всех проходов наглядно представлено на диаграмме, изображенной на рис. 3.



Рисунок 3 – Распределение обжатий по проходам для существующих режимов № 1–4

На данном этапе работы ставилась цель – исследовать влияние режимов обжатий на проникновение деформации к осевым участкам проката в каждом отдельном проходе.

Для изучения вопроса о проникновении деформации к осевым участкам раската применили современный численный метод решения деформационных задач с использованием теории пластичности. Использовали метод конечных элементов, который позволяет найти решение деформационной задачи в вариационной постановке.

Решение вариационного уравнения позволило определить распределение деформации по сечению полосы в каждом проходе исследуемых режимов деформации. Сопоставление степени деформации в осевой зоне раската для каждого прохода представлено на рис. 4. Здесь следует отметить, что анализировалась степень деформации, которая учитывает, как деформации вдоль координатных осей, так и сдвиговые деформации.

Анализ результатов расчетов показал, что при прокатке на гладкой бочке имеется четкая взаимосвязь между величиной обжатия и проникновением деформации к осевым участкам прокатываемой полосы. До проведения исследований этот результат был не очевиден, так как существующие исследования в области прокатки высоких тел показывают, что в этом случае деформация практически не проникает к центральным участкам полосы. Поэтому считалось, что большие величины обжатий в первых проходах необходимы только для уменьшения величины продольных растягивающих напряжений и недостаточны для проработки структуры металла в центральных участках раската. Это приводило к тому, что большие обжатия в первых проходах назначались только в крайнем случае с целью увеличения производительности прокатного стана. Если имелась возможность прокатки полосы со щадящим режимом обжатия, то выбирался именно этот режим с целью отсутствия перегрузок главного привода стана по энергосиловым параметрам и, соответственно, меньшей величиной среднеквадратичного тока.

Таким образом, проведенные исследования показали, что при возникновении необходимости усиленной проработки центральных участков полосы, как, например, при прокатке заготовок для производства осей, вполне оправданно повышение обжатий в каждом отдельном проходе до предела, допускаемого прочностью оборудования и мощностью привода прокатного стана.

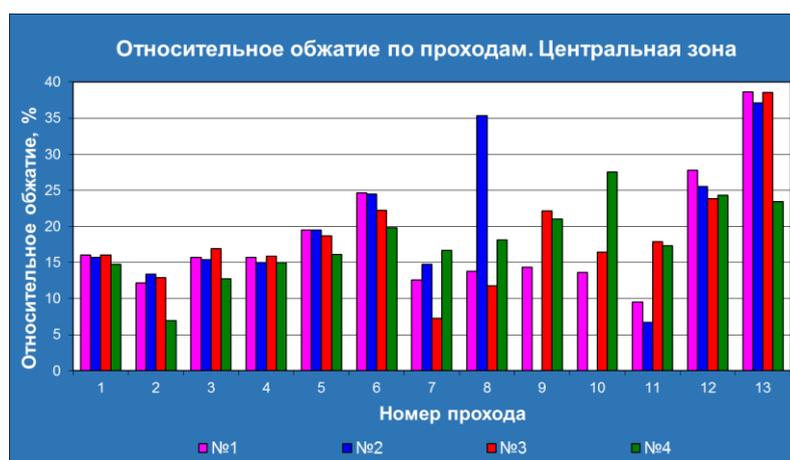


Рисунок 4 – Распределение степени деформации в центральной зоне полосы для существующих режимов обжатий №1–4

Анализ распределения деформации по сечению раската позволил сделать вывод, что с точки зрения проработки центральных участков полосы нельзя отдать предпочтение прокатке в ящичных калибрах, так как наличие защемления полосы приводит здесь только к увеличенной проработке поверхностных слоев, не увеличивая проработку

центральных. Кроме этого, увеличение обжатий в этих калибрах может привести к их переполнению и формированию заката при последующей прокатке. Вместе с этим, повышенные обжатия в ящичных калибрах приведут к увеличению выработки боковых стенок калибра, что негативно скажется на устойчивости полосы в калибре.

Опытная прокатка показала, что заготовки, прокатанные по режиму № 2 и № 3, характеризуются близкими параметрами дендритной структуры. Вместе с тем, заготовки, прокатанные по режиму № 2 отличаются большей проработкой дендритной структуры и особенно в центральных слоях (рис. 5). Как следствие, они имеют более равномерным распределением ликвационных участков, по сравнению с заготовкой, полученной с использованием режима № 3.

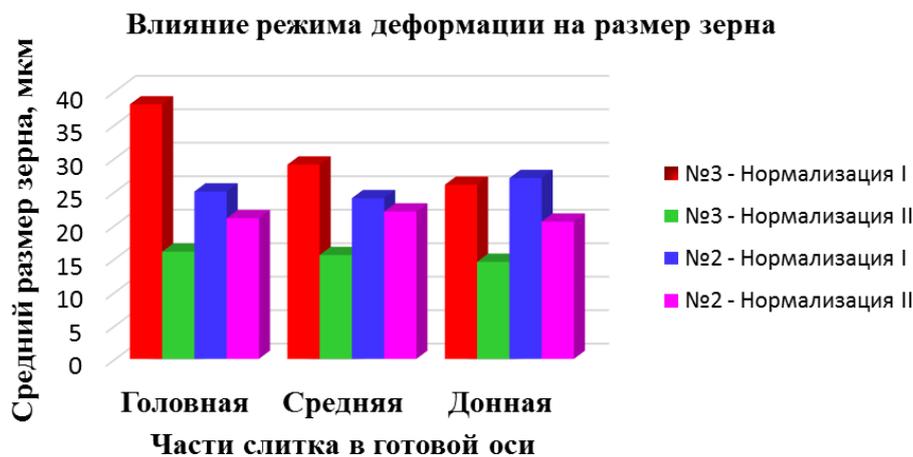


Рисунок 5 – Изменение среднего размера перлитного зерна нормализованных осей

Выводы. Показано, что для лучшей проработки структуры металла центральных участков полосы применение ящичных калибров неэффективно. Лучшими характеристиками, с точки зрения проработки структуры, обладает схема прокатки в гладких валках. Использование ящичных калибров позволяет лучше проработать поверхностные слои раската.

ЛИТЕРАТУРА

1. Klinger C. Axle fracture of an ICE3 high speed train / C.Klinger, D.Bettge // Engineering Failure Analysis. – 35 (2013). – P. 66–81
2. Knauf F. Structural analysis of railway axles wheel pairs made on hydraulic radial forging press of the type SMX / F.Knauf // Foundry production and metallurgy. – 3(72). – P. 135–139.
3. Целиков А. И. Специальные прокатные станы / А. И. Целиков, М. В. Барбач, М. В. Васильчиков. – М. : Metallurgy, 1971. – 336 с.
4. Целиков А. И. Поперечно-винтовая прокатка / А. И. Целиков, И. И. Казанская, А. С. Сафронов. – М. : Машиностроение, 1982. – 192 с.
5. Пименов А. Метод прокатки железнодорожных осей. Патент № 2164190, Россия. – Дата публикации: 20-03-2001.
6. Северденко В. П. Некоторые особенности дробной прокатки / В. П. Северденко, Л. И. Гурский // Известия вузов. Черная металлургия. – 1965. – № 5. – С. 119–123.
7. Романцев Б. А. К вопросу формирования структуры и свойств металлических материалов при винтовой прокатке / Б. А. Романцев, И. Г. Морозова, А. И. Лисовский, Н. Н. Алешин // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. – № 11. – С. 28–30.

8. Жадан В. Т. Влияние скорости и степени деформации при ВТМО на структурообразование стали / В. Т. Жадан, М. Л. Бернштейн, В. Т. Губенко // Сталь. – 1975. – № 10. – С. 94–97.
9. Лезинская Е. Я. Регламентрование величины зерна в горячедеформированных трубах из стабильно аустенитной стали/ Е. Я. Лезинская, Л. И. Шевченко // Сталь. – 1976. – № 3. – С. 264–265.
10. Флоров В. К. Влияние прокатки на формирование аустенитного зерна сталей для трубной заготовки и универсальной полосы / В. К. Флоров, С. А. Шубина // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1977. – № 1. – С. 33–36.
11. Акимова Е. П. Особенности производства горячедеформированных труб с регламентированной величиной зерна / Е. П. Акимова, О. С. Вильямс, Е. Я. Лезинская, Т. А. Манько, Л. Г. Ковалева, Т. Г. Садокова // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1980. – № 1. – С. 20–22.
12. Чекмарев А. П. Теория прокатки больших слитков / А. П. Чекмарев, В. Л. Павлов, В. Л. Мелешко, В. А. Токарев. – М. : Металлургия, 1968. – 252 с.
13. Баимов Н. И. Оптимизация процессов прокатки на блюминге / Н. И. Баимов. – М. : Металлургия, 1974. – 216 с.
14. Гетманец В. В. Рациональные режимы работы блюминга/ В. В. Гетманец, В. Я. Шевчук. – М. : Металлургия, 1990. – 136 с.
15. Еремеев В. И. Выбор условий прокатки для повышения эффективности ВТМО / В. И. Еремеев, А. Н. Черненко, В. А. Юров // Сталь. – 1983. – № 3. – С. 16–18.
16. Илюкович Б. М. Прокатка и калибровка в 6 томах / Б. М. Илюкович, Н. Е. Нехаев, В. П. Капельюшный. – Днепропетровск, Днепро-Вал, 2004–2005.
17. Ершов С. В. Анализ напряженно-деформированного состояния при прокатке в первом овальном калибре современного проволочного стана / С. В. Ершов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2016. – № 4. – С. 38–44.
18. Воронцов В. К. Экспериментальные методы механики деформируемых твердых тел / В. К. Воронцов, П. И. Полухин, В. А. Белевитин и др. – М. : Металлургия, 1990. – 480 с.

УДК 621.771.09

ИВАНОВ Г. Б.¹, в.и.о. нач. тех. отдела
ШТОДА М. Н.², к.т.н., доцент

¹ ПАО «Днепропетровский металлургический комбинат», г. Каменское, Украина

² Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ ЛИНИИ ДВУХСТАДИЙНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ КАТАНКИ СТАНА 400/200 ПАО «ДМК»

Введение. Основными показателями качества катанки из различных марок сталей являются структура, механические свойства и точность размеров. Как показал опыт новых зарубежных мелкосортных, мелкосортно-проволочных и проволочных станов, применение нормализующей прокатки (температура конца прокатки на 30–50 °С выше TAr3) и термомеханической обработки (температура конца прокатки находится в пределах TAr3 – TAr1) в большинстве случаев позволяет существенно улучшить свойства и структуру проката, снизить затраты на переработку в дальнейшем переделе и улучшить качество готовой продукции [1, 2].

Несмотря на то, что в настоящее время имеются многочисленные способы охлаждения бунтового проката в потоке непрерывных мелкосортно-проволочных станов [3],