

## РИСКИ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГОМОГЕНИЗАЦИИ НЕПРЕРЫВНО-ЛИТЫХ ЗАГОТОВОК ПРИ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКЕ ПОДШИПНИКОВЫХ МАРОК СТАЛЕЙ

С. А. Савченко

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель И. В. Астапенко, канд. с.-х. наук, доцент

Цель работы – определить эффективность применения гомогенизирующего отжига непрерывно-литых заготовок (НЛЗ) на качество структуры готового проката из ШХ-сталей и технологические риски проведения процесса.

Предметом исследования в работе является технологический процесс высокотемпературного отжига с последующим прокатом подшипниковых сталей в условиях стана 370/150 СПЦ-2 ОАО «БМЗ» для устранения карбидной ликвации.

Риски, связанные с проведением гомогенизации, можно разделить на очевидные и неочевидные. К очевидным рискам можно отнести увеличение угара металла и, как следствие, появление поверхностных дефектов. К неочевидным – получение аварийного брака по причине расслоения раската.

Интенсивное выгорание поверхности блюмов в окислительной атмосфере печи приводит к обезуглероживанию поверхностного слоя, а также способствует появлению поверхностных дефектов прокатного происхождения, таких, как прокатная пленка и чешуйчатость. Решить проблему удалось ограничением температуры и времени нагрева в печи, а также сохранением первородной и вторичной окалин [1]–[3].

Основным риском, связанным с гомогенизацией, является аварийный брак, проявляющийся при прокате подшипниковых марок сталей легированных марганцем и кремнием, таких, как ШХ15СГ и ШХ20СГ. За период внедрения дополнительной термообработки с 01.01.2020 г. по 01.09.2020 г. было отмечено несколько случаев разрушения заготовки при прокате. При металлографических исследованиях дефект был классифицирован как расслой.

Расслой – продольное нарушение сплошности металла различной протяженности, приводящее к его разрушению [4]. Расслой, приведший к получению аварийного брака, произошел вследствие возникновения в осевой части заготовки напряжений, связанных со структурными превращениями при неравномерном нагреве. Зарождение трещины во всех зафиксированных случаях произошло на расстоянии от 300 до 500 мм от торцов непрерывно-литой заготовки. В процессе развития под действием структурных напряжений осевая трещина выходит на грани и торец блюма, достигает критического размера при прокатке и приводит к его разрушению по типу расслоя (рис. 1).

Для поиска основной причины были проанализированы режимы выплавки и разливки, охлаждение под колпаками и дальнейший гомогенизирующий отжиг на станах 370/150 и 850.

При анализе существующей технологии отклонения не выявлены. Было замечено, что дефекты проявлялись только на первых блюмах плавов, которые проходили гомогенизацию на стане 850 [5]–[8].



а)



б)

Рис. 1. Дефекты, выявленные при аварийном браке:  
а – внешний вид трещины на блюме  $250 \times 300$  после гомогенизирующего отжига;  
б – расслой на прутке

На примере стана 370/150 при производстве из заготовок  $140 \times 140 \times 12000$  мм были выявлены пики нагрузок на электродвигатель клетей, которые четко совпадают с количеством мест соприкосновения заготовок с водоохлаждаемыми балками (рис. 2).

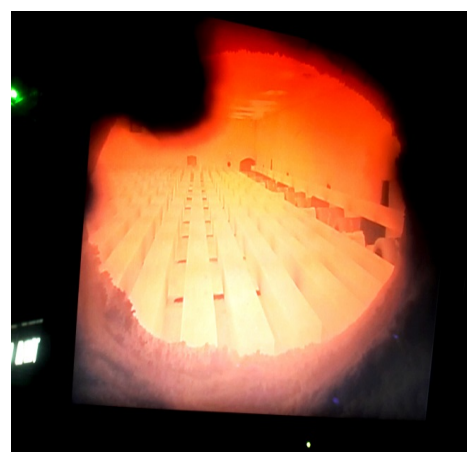
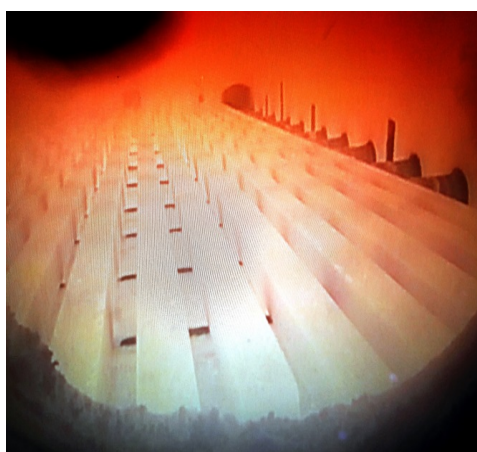


Рис. 2. Расположение заготовок на водоохлаждаемых балках в процессе нагрева на стане 370/150

Ключевым фактором, выявленным в процессе анализа причин аварийного брака, является возникновение трещин на расстоянии около 400 мм, т. е. исключительно в местах контакта блюма с водоохлаждаемой балкой. Предположительно, негативному воздействию подвергались только первые заготовки ввиду большого градиента температур. По мере последующей загрузки печи температура снижается и не происходит теплового удара на остальных заготовках. Для устранения проблемы была разработана альтернативная схема нагрева, заключающаяся в прохождении через подогревательную печь и последующую выдержку в нагревательной печи (табл. 1).

Таблица 1

## Температурный режим нагрева и гомогенизации в печах стана 850

Размер НЛЗ, мм	Температура в подогревательной печи стана 850 по зонам, °С			
	1	2	3	4
250 × 300 × 2900 ÷ 5500	810–870	810–870	930–990	930–990

Продолжение табл. 1

Температура гомогенизации в нагревательной печи стана 850 по зонам, °С					
Размер НЛЗ, мм	Температура в подогревательной печи стана 850 по зонам, °С				
	1, 2	3	4	5	6
250 × 300 × 2900 ÷ 5500	1100–1190	1100–1190	1100–1190	1100–1190	1100–1190

*Примечания:* 1. Продолжительность нагрева НЛЗ в печи – 2–4 ч. – 2. Соотношение расхода газа и воздуха устанавливается в диапазоне: зона 1, 2 – 1 : 10; зона 3, 4 – от 1 : 9 до 1 : 10. – 3. Продолжительность нагрева НЛЗ в печи – не менее 10 ч. – 4. Соотношение расхода газа и воздуха устанавливается в диапазоне от 1 : 9,5 до 1 : 10,5.

Увеличение себестоимости продукции происходит за счет затрат, возникающих при проведении гомогенизации.

Потребляемые ресурсы (затраты):

- газ природный;
- электроэнергия;
- вода оборотная.

Проведение термообработки сопровождается дополнительным увеличением себестоимости от 4 до 7 %. За период внедрения гомогенизирующего отжига выход годной продукции составил 97 % за 2019–2020 гг. Для сравнения: выход годной продукции за 2017–2018 гг. составлял 87 %. Таким образом, выход годной продукции в подшипниковых марках сталей, прошедших гомогенизацию, увеличился на 10 %. Следовательно, процент брака по карбидной неоднородности с внедрением отжига снижен с 13 до 3 %.

Главным критерием оценки эффективности – степень влияния процесса гомогенизации на уровень карбидной неоднородности в готовом сорте CZ6 (не более 6,3) и CZ7 (не более 7,4). Результаты металлографических испытаний горячекатаного прутка, произведенного из непрерывно-литых заготовок, прошедших гомогенизацию на 850 и 370/150, сведены в табл. 2.

Таблица 2

## Результаты металлографических испытаний

Гомогенизирующий отжиг блюмов на стане 850			Гомогенизирующий нагрев блюмов на стане 370/150		
Профиль, мм	Карбидная ликвация сомкнутая, CZ6	Карбидная ликвация раздробленная, CZ7	Профиль, мм	Карбидная ликвация сомкнутая, CZ6	Карбидная ликвация раздробленная, CZ7
38–80	6,1–6,3	7,2–7,4	36–60	6,1–6,3	7,1–7,3

По данным табл. 2 видно, что оба варианта – термообработка малотоннажных партий 850 стана и крупнотоннажных партий стана 370/150 позволяют достигнуть требуемых значений карбидной неоднородности на готовом прутке CZ6 – не более 6,3 и CZ7 – не более 7,4.

Таким образом можно сделать следующие выводы:

1. Гомогенизирующий отжиг позволяет достичь уровня карбидной сегрегации, необходимого для выполнения контрактных требований, CZ6 – не более 6,3 и CZ7 – не более 7,4.

2. При гомогенизации увеличивается выход годной продукции, но при этом увеличивается угар металла в печи и потребление природного газа, снижается производительность стана, увеличивается вероятность образования обезуглероженного слоя и поверхностных дефектов.

### Литература

1. Темлянец, М. В. Окисление и обезуглероживание стали в процессах нагрева под обработку давлением / М. В. Темлянец, Ю. Е. Михайленко. – М. : Теплотехник, 2006. – 200 с.
2. Тлустенко, С. Ф. Теория и режимы нагрева и термообработки заготовок и деталей в процессах ОМД / С. Ф. Тлустенко. – Самара : Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012. – 80 с.
3. Исследование дефектов непрерывно-литой заготовки диаметром 200 мм и причин их образования в условиях ОАО «БМЗ» / И. А. Ковалева [и др.] // Литье и металлургия. – 2012. – № 3. – С. 59–62.
4. ГОСТ 21014–88. Прокат черных металлов. Термины и определения дефектов поверхности.
5. Оптимизация нагрева заготовок из стали ШХ15СГ перед прокаткой / А. Б. Стеблов [и др.] // Сталь. – 2005. – № 5. – С. 58–61.
6. Савченко, С. А. Анализ влияния деформационных параметров прокатки на качество прутка из шарикоподшипниковой стали в условиях стана 370/150 ОАО «БМЗ» / С. А. Савченко ; науч. рук. И. В. Астапенко // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления : материалы XIX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2019 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2019. – С. 116–119.
7. Савченко, С. А. Совершенствование технологического процесса горячей прокатки шарикоподшипниковых сталей в условиях стана 370/150 ОАО «БМЗ» УКХ «БМК» / С. А. Савченко ; науч. рук. И. В. Астапенко // Тез. докл. 19-й Междунар. науч.-техн. конф. молодых работников «Металл 2019», Жлобин, 3–6 июля 2019 г. / ОАО «БМЗ» УКХ «БМК». – Жлобин, 2019. – С. 37–38.
8. Астапенко, И. В. Анализ влияния гомогенизирующего отжига блюмов подшипниковых марок стали на качество проката / И. В. Астапенко, С. А. Савченко // Современные проблемы машиноведения : материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. 125-летию со дня рождения П. О. Сухого), Гомель, 22 окт. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П. О. Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого» ; под общ. ред. А. А. Бойко. – Гомель, 2020. – С. 100–102.

## ОПТИМИЗАЦИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ ТИПА «ФЛАНЕЦ»

А. В. Хихлуха

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель М. И. Михайлов, д-р техн. наук, профессор

Современное машиностроение характеризуется повышением требований к геометрическим параметрам качества изготовления поверхностей деталей, их автоматизации и гибкости производства.

Задача оптимизации работы робототехнического комплекса (РТК), в условиях которого производится обработка деталей типа «Фланец», решалась поэтапно.