

УДК 621.771

Панченко А. И.
Тумко А. Н.
Сальников А. С.
Ярошенко О. А.
Пересащенко О. В.

ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА ПОДШИПНИКОВЫХ СТАЛЕЙ В ПРОЦЕССАХ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПЕРЕДЕЛА

Подшипниковые стали являются одним из важнейших машиностроительных материалов, качество которых обеспечивает необходимую длительную и надёжную работоспособность машин и механизмов, в связи с чем повышение качества проката и поковок этих сталей является актуальной задачей.

В Украине основным производителем металла для подшипниковых заводов является ОАО «Днепроспецсталь» (г. Запорожье), ежегодно поставляющее более 50000 тонн проката и поковок сталей ШХ15, ШХ15СГ, ШХ4, ШХ20СГ, 95Х18-Ш, 8Х4В9Ф2-Ш (ЭИ347-Ш) высокого качества [1–4], отвечающего современным требованиям ряда японских и западноевропейских фирм, заводов СНГ, производящих подшипники для железнодорожного транспорта и авиационных двигателей. Наряду с открытой дуговой выплавкой указанные стали производят и способами, включающими электрошлаковый и вакуумно-дуговой передела.

Целью данной работы является разработка и внедрение в прокатном производстве технологических решений, обеспечивающих удовлетворение возрастающих требований к качеству проката подшипниковых сталей. Она достигалась путём экспериментальных исследований влияния различных технологических параметров деформационного передела в условиях ОАО «Днепроспецсталь» на показатели качества проката сталей ШХ15 и ШХ15СГ.

Для обеспечения повышенных требований к качеству стали по карбидной неоднородности, остаткам карбидной сетки, структурной полосчатости, микропорам разработан и внедрён гомогенизирующий нагрев слитков сталей ШХ15 и ШХ15СГ перед прокаткой, включающий изотермические выдержки при температурах 1140, 1180, 1200 и 1250 °С по 2 часа на каждой ступени. Кроме гомогенизации слитков, разработаны и используются при необходимости режимы гомогенизирующего нагрева заготовок перед прокаткой на сортовых станах. Гомогенизирующий нагрев слитков перед деформацией позволяет гарантировать структурную полосчатость не более 2,0 балла, увеличить ударную вязкость в 2–2,5 раза и значительно повысить уровень механических свойств. Контактная выносливость гомогенизированных образцов на 20–50 % выше обычных.

Основным видом карбидной неоднородности подшипниковых сталей ШХ15 и ШХ15СГ является остаточная (после отжига) сетка избыточных карбидов, скопления которых так же, как и неметаллические включения, могут быть очагами выкрашивания, образования мельчайших трещин, причиной преждевременного разрушения подшипников. Уменьшение остатков карбидной сетки с 4 до 1 балла повышает контактную выносливость в 2 раза.

Повышают долговечность подшипников деформация и ускоренное охлаждение в режиме высокотемпературной термомеханической обработки, которые обеспечивают мелкозернистую структуру аустенита и соответственно более дисперсное строение продуктов его распада, в том числе и измельчение основной массы карбидов.

Учитывая эти обстоятельства, разработана и внедрена на мелкосортных станах 325 и 280 технология прокатки подшипниковых сталей ШХ15 и ШХ15СГ с ускоренным последеформационным охлаждением [3]. При разработке технологии использовали метод математического планирования промышленного эксперимента с целью построения математических моделей процессов ускоренного водовоздушного охлаждения проката в потоке прокатных

станов. Построены зависимости температуры раската от диаметра профиля (от 8 до 21 мм на стане 280 и от 22 до 42 мм на стане 325) и от расхода воды в установках ускоренного охлаждения (до 70 м³/ч при прокатке на бунты диаметром 8-14 мм, до 140 м³/ч при прокатке прутков на стане 280 и до 240 м³/ч при прокатке прутков диаметром 22–42 мм на стане 325). С помощью математических моделей исследованы процессы охлаждения проката и разработаны технологические режимы охлаждения, которые внедрены на станах 325 и 280 (табл. 1 и 2).

Таблица 1

Температура поверхности проката, прошедшего ускоренное охлаждение

Диаметр профиля, мм	22–23	24–26	27–28	29–30	31–33	34–36	37–42
Интервал температур, °С	680–730	660–710	650–700	640–690	630–680	620–670	610–660

Таблица 2

Расход воды при прокатке бунтов в зависимости от диаметра профиля

Диаметр профиля, мм	Расход воды, м ³ /ч
8	15–25
9	20–30
10	45–50
11	50–55
12–14	60–70

Внедрение контроля температурных условий прокатки и охлаждения на станах 280 и 325 позволило гарантировать необходимое качество структуры стали и исключить из технологической схемы нормализацию мелкосортного проката, используемую в тех случаях, когда остатки карбидной сетки превышают 3 балл по ГОСТ 801. Весьма эффективным технологическим решением по уменьшению остатков карбидной сетки в подкате сталей ШХ15 и ШХ15СГ стало повышение температуры структурного отжига с 780 °С до 790–800 °С и увеличение выдержки при этих температурах на 20–30 %.

С целью обеспечения заданных температурных условий окончания деформации и ускоренного последеформационного охлаждения, а также для улучшения качества поверхности проката уменьшили температуру нагрева заготовок на сортовых линейных станах 550 и 280 до 1100 °С, реализуя таким образом технологию низкотемпературной прокатки. На стане 325 снизили температуру нагрева до 1140 °С с учётом имеющейся технологической возможности подстуживания раската до 850 °С перед последним проходом.

За счёт снижения температуры нагрева заготовок уменьшилось окалинообразование и значительно уменьшилась запороченность поверхности проката морщинами, из-за которых прутки необходимо шлифовать, чтобы не пропускать другие недопустимые дефекты – раскатанные трещины, закаты и газовые пузыри. Таким образом, в результате внедрения гомогенизирующего нагрева слитков, управляемых температурных режимов деформации и последеформационного охлаждения проката на сортовых станах 550, 325 и 280, повышения температуры структурного отжига и увеличения его длительности, а также за счёт уменьшения максимального содержания в стали углерода до 1,00 % удалось полностью исключить брак по остаткам карбидной сетки в калиброванных и отожжённых сортовых прутках стали ШХ15 и ШХ15СГ.

Крупносортный прокат подшипниковых сталей диаметром более 70 мм производят, как правило, без структурного отжига и не контролируют на остатки карбидной сетки, поэтому приведенные выше мероприятия не используют при его производстве. Главная про-

блема качества крупносортного проката сталей ШХ15 и ШХ15СГ состоит в повышенной микропористости прутков диаметром более 100 мм. Образование микропор при прокатке на крупносортных станах чаще объясняют локальным перегревом металла в ликвационных участках, обогащённых углеродом, сульфидами и оксидами.

В ликвационных участках температура плавления ниже, чем основного металла, в них сталь теряет пластичность при нагреве, и во время прокатки под действием растягивающих напряжений в этих местах возникают микроразрывы, которые называют микропорами. На рис. 1 приведены грубые микропоры на шлифах без травления и с травлением, благодаря которому видно, что микропоры появляются в ликвационных полосах.

При прокатке прутков диаметром 100–130 мм на крупносортном стане 550 одной из причин появления микропор может быть быстрый нагрев заготовки (тепловой удар при посадке заготовок в методическую печь на нагрев), вызывающий микроразрывы в хрупкой осевой части неотожжённой заготовки, которые остаются в прокате из-за недостаточной степени деформации и наличия растягивающих напряжений в осевой зоне раската при прокатке высокой полосы в первых проходах. Другой причиной этого дефекта, наряду с недостаточными обжатиями в первых проходах, является локальный перегрев ликвационных участков.

Поэтому на стане 1050/950 снижена температура нагрева стали перед прокаткой на 20 °С, а на стане 550 – на 70 °С, что позволило на обжимно-заготовочном стане уменьшить количество задержанных прутков по дефекту «микропоры» с 23 до 7 %, а на стане 550 – с 17 до 8 %. Устранить полностью появление микропор в структуре крупносортного проката подшипниковых сталей возможно за счёт дальнейшего совершенствования температурных условий прокатки и оптимизации режимов деформации слитков и заготовок.

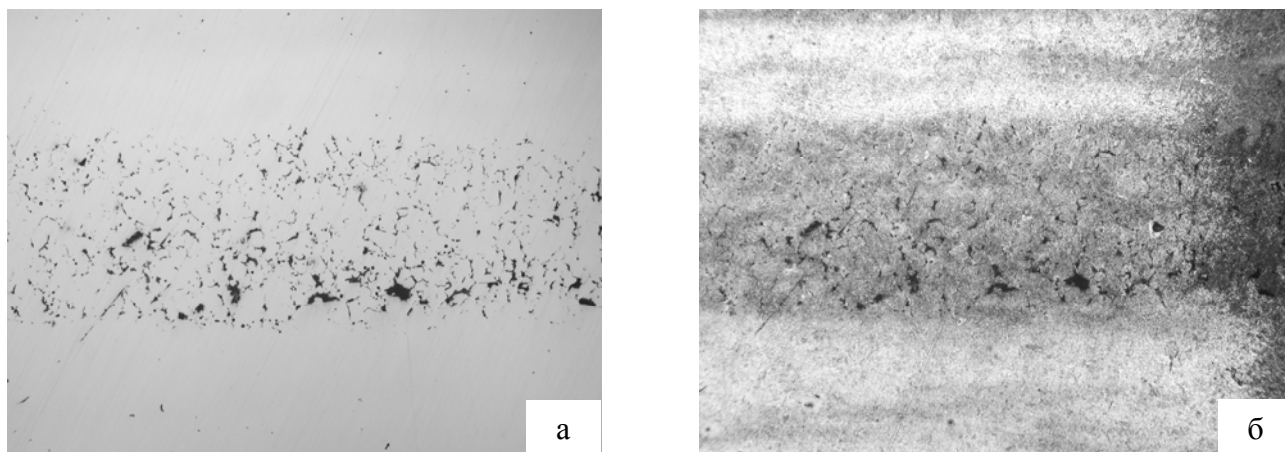


Рис. 1. Микропоры в нетравленых (а) и травленых (б) шлифах подшипниковой стали, $\times 100$

Микропоры в макроструктуре проката проявляются в виде участков с повышенной травимостью (рис. 2) и могут обнаруживаться в металле при ультразвуковом контроле (УЗК) внутренних дефектов. В макроструктуре проката диаметром более 200 мм подшипниковых сталей, наряду с микропорами, при УЗК могут выявляться флокены и осевая пористость слитка, не заварившаяся при деформации, появление которых связано с технологическими особенностями процессов деформационного передела слитков и заготовок.

Для обеспечения плотной макроструктуры прутки таких профилируемых традиционно производили ковкой на прессах. Однако ковка – низкорозводительный энергоёмкий процесс, сопровождающийся высокими потерями металла в кусковые отходы, окалину и стружку при обточке прутков по сравнению с прокаткой. По замене этого процесса прокаткой в условиях ОАО «Днепрспецсталь» проведен ряд работ [5, 6], позволивших значительно снизить себестоимость металлопродукции. Используя этот опыт, разработана и опробована технология прокатки слитков подшипниковой стали ШХ15СГ на круг 260 мм с последующей обточкой до требуемого диаметра 250 мм. Сталь разливали в слитки массой 6,5–6,7 тонн

и прокатывали на круг 260 мм с максимальными обжатиями в отдельных проходах до 110 мм. После прокатки прутки охлаждали не менее 144 часа до температуры ниже 150 °С, отжигали и обтачивали на диаметр 250 мм. Обточенный прокат подвергали 100 % ультразвуковому контролю по 3 группе, классам Сс методики SEP 1921, в результате которого внутренних дефектов не обнаружено. Выход годного составил 64 %.

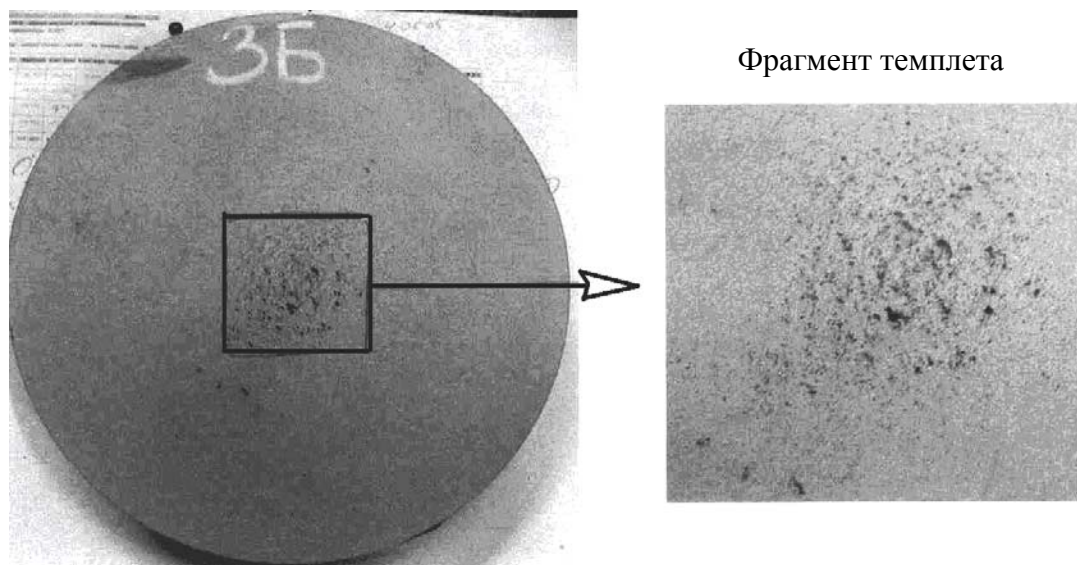


Рис. 2. Макроструктура проката с микропорами

Загрязненность проката диаметром 260 мм стали ШХ15СГ неметаллическими включениями, оцененная по шкалам ASTM E45 (метод А), удовлетворяет требованиям потребителя (табл. 3).

Таблица 3

Неметаллические включения в прокате диаметром 260 мм стали ШХ15СГ по ASTM E45

Шкалы ASTM E45 (метод А)		Среднее значение, балл	Требования потребителя, балл
А	тн	1,53	2,0
	тл	1,14	1,5
В	тн	1,3	1,5
	тл	0,63	1,0
С	тн	0	0
	тл	0	0
D	тн	1,0	1,0
	тл	1,0	1,0

Экспериментальными исследованиями влияния степени деформации при прокатке горячекатаных заготовок стали ШХ15 на поведение неметаллических включений установили, что прокатка подшипниковой стали с коэффициентом вытяжки от 120 до 200 снижает балл оксидных и сульфидных включений на 0,5–1,0 по ГОСТ 801, балл глобулярных включений для большинства плавок снижает на 0,25–0,5. Для отдельных плавок балл глобулярных включений оставался неизменным при максимальных степенях деформации.

Улучшение качества структуры стали, уменьшение неметаллических включений [1–3] позволило подойти к массовому производству подшипниковой проволоки по ГОСТ 4727 с обеспечением структуры перлита 2 балла, остатков карбидной сетки 1–2 балла по шкалам ГОСТ 801, оксидов, сульфидов и глобулей в пределах от 0,5 до 1,0 балла и временного

сопротивления разрыву от 598 до 667 МПа. Проблему качества поверхности проволоки решали путём сплошной абразивной зачистки заготовки, в результате чего на готовой проволоке, кроме рисок и следов от рисок глубиной менее 0,05 мм, дефектов не было. Глубина обезуглероженного слоя на проволоке диаметром от 3,4 до 5,4 мм не превышала 0,03 мм.

В части абразивной зачистки заготовок в условиях ОАО «Днепроспецсталь» проведено исследование влияния химического состава, твёрдости, структуры стали, а также таких параметров зачистки, как размер зерна абразивного круга, температура металла при зачистке, на трещинообразование во время адьюстажной обработки.

Установлено, что шлифовочные трещины появляются на заготовках с твёрдостью более 365 НВ и практически отсутствуют при твёрдости металла менее 330 НВ. Кроме того, шлифовочные трещины появлялись на заготовках, в структуре которых имеют место сплошная карбидная сетка и крупное аустенитное зерно 2–4 номера по ГОСТ 5639-82. На основании этих исследований уменьшена температура конца прокатки заготовок на стане 1050/950 до 900–850 °С и изменена технология последеформационного охлаждения заготовок, что позволило улучшить технологичность стали при адьюстажной обработке и значительно уменьшить отбраковку сортового проката по раскатанным трещинам.

ВЫВОДЫ

В промышленных условиях проведены экспериментальные исследования влияния различных технологических факторов деформационного передела на показатели качества подшипниковых сталей. Установлены закономерности формирования макро- и микроструктуры сталей ШХ15 и ШХ15СГ в процессах нагрева, деформации и последеформационной обработки, которые позволяют прогнозировать и гарантировать необходимое качество готового проката.

ЛИТЕРАТУРА

1. Совершенствование технологии выплавки подшипниковой стали в ОАО «Днепроспецсталь» / С. С. Казаков, Л. Н. Король, Коваль А. Е. [и др.] // *Сталь*. – 2001. – № 10. – С. 27–29.
2. Технология выплавки чистой стали ШХ15СГ-В / М. И. Гасик, А. И. Панченко, Л. М. Скрипка [и др.] // *Сталь*. – 2009. – № 6. – С. 25–28.
3. Уменьшение остатков карбидной сетки в прокате стали ШХ15 (СГ) / О. А. Ярошенко, А. Н. Тумко, А. И. Лобов // *Сталь*. – 2002. – № 9 – С. 82–83.
4. Улучшение качества деформируемых заготовок из стали 8Х4В9Ф2-Ш / А. Н. Тумко, В. В. Брынза, А. В. Коровин [и др.] // *Сталь*. – 1992. – № 5. – С. 70–74.
5. Пат. 34073А UA 6 В21 В1/00. Способ производства прутков диаметром 200...275 мм / Тумко А. Н., Лейбензон В. А., Ревякин С. В. и др. – № 99052943, заявлен 27.05.1999 г.
6. Замена операции ковки прокаткой на заводе «Днепроспецсталь» / Тумко А. Н., Ревякин С. В., Казаков С. С. [и др.] // *Производство проката*. – 2000. – № 5. – С. 2–5.

Панченко А. И. – техн. директор ОАО «Днепроспецсталь»;

Тумко А. Н. – канд. техн. наук, зам. нач. ЦЗЛ ОАО «Днепроспецсталь»;

Сальников А. С. – канд. техн. наук, нач. ЦЗЛ ОАО «Днепроспецсталь»;

Ярошенко О. А. – гл. прокатчик ОАО «Днепроспецсталь»;

Пересащенко О. В. – ведущий инженер ЦЗЛ ОАО «Днепроспецсталь».

ОАО «Днепроспецсталь» – ОАО «Электрометаллургический завод «Днепроспецсталь» им. А. Н. Кузьмина», г. Запорожье.

E-mail: CzIzN1@dss.com.ua