

П. Н. Кирильченко, Е. П. Волошенко, О. В. Василевский

ПАО «Мариупольский металлургический комбинат им. Ильича», Группа Метинвест

Пути улучшения эксплуатационных характеристик деталей металлургического оборудования

Проанализировано влияние режимов ковки на эксплуатационные характеристики деталей путем улучшения макро- и микроструктуры металла. Приведены металлографические исследования поковок роликов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ). Рассмотрена внедренная в условиях ПАО «ММК им. Ильича» технология ковки в комбинированных бойках, которая позволила добиться улучшения механических свойств металла на 10-20 % и уменьшить неравномерность структуры.

Ключевые слова: стойкость деталей, макроструктура, микроструктура, ковка, механические свойства, неравномерность структуры

Производственные цеха управления главного механика (УГМ) Мариупольского металлургического комбината им. Ильича в настоящее время главным образом ориентированы на изготовление нового оборудования и поставку деталей для проведения текущих и капитальных ремонтов основных цехов предприятия. Перед специалистами УГМ поставлена задача обеспечить выпуск продукции с высокими эксплуатационными характеристиками, чтобы успешно конкурировать с ведущими машиностроительными предприятиями Украины. В связи с этим ключевой составляющей системы менеджмента качества является определение приоритетных направлений внедрения наукоемких инновационных технологий, позволяющих улучшить характеристики выпускаемых деталей металлургического оборудования.

Одним из важных сегментов выпускаемой продукции УГМ металлургического комбината им. Ильича являются ролики МНЛЗ для кислородно-конвертерного цеха, которые подвергаются знакопеременным нагрузкам, работающим на излом вдоль оси. Данные детали изготавливают из поковки, откованной в кузнечно-прессовом цехе (КПЦ) ММК им. Ильича. С целью определения качества данных поковок проведены сравнительные исследования деталей, изготовленных разными производителями.

Качество и стойкость деталей, как правило, определяют комплексом механических свойств материала. Традиционно проверку осуществляют на продольных образцах из припуска у шейки, обращенной к прибыльной части слитка [1]. Сопоставление твердости поковок, их механических свойств, макро-, микроструктуры с данными эксплуатации позволяет оценить влияние данных параметров на увеличение срока службы детали [2, 3].

Для изготовления поковок роликов МНЛЗ в качестве исходной заготовки используют шестигранные кузнечные слитки массой 4200, 5000 и 6800 кг (в зависимости от типоразмера). Выплавку производят в электродуговых печах фасонно-сталелитейного цеха ММК им. Ильича, разливку слитка осуществляют сифонным способом. Нагрев производят в газовых камерных печах с выкатным подом и массой садки до 30 т, а ковку – на гидравлическом ковочном прессе усилием 12,5 МН. На комбинате разработана и внедрена следующая технология изготовления данных поковок: обжатие производили плоскими бойками с шириной 300 мм; ковку вели по схеме круг-квадрат-круг. Для проведения сравнительного исследования характеристик деталей выбрали ролики с максимальным диаметром по бочке 370 мм. Данный типоразмер роликов МНЛЗ изготавливали из слитка массой 5000 кг и диаметром после обкатки 600 мм. Минимальный уков по максимальному сечению поковки (410 мм) составил 2,2. С целью оценки качества металла отобрали пробы от роликов МНЛЗ производства «SPRUT IMPEX» (Румыния) и кузнечно-прессового цеха ПАО «ММК им. Ильича», выработавшие свой эксплуатационный ресурс.

В ходе изучения отобранных образцов провели следующие исследования: определили химический состав металла спектральным методом по ГОСТ 18895-97 (табл. 1); измерили твердость по методу Роквелла (табл. 1); провели оценку макроструктуры методом серного отпечатка по Бауману (табл. 2); определили микроструктуру металла методом химического травления 4%-ным спиртовым раствором азотной кислоты (рис. 1; табл. 2).

Результаты проведенных исследований показали, что поковки роликов МНЛЗ, откованные на ММК им. Ильича, имеют более неоднородную

Таблица 1

Химический состав и твердость образцов, отобранных от роликов МНЛЗ

Производители роликов	Массовая доля элементов, %									Твердость, HRC
	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	Ni	S	P	
Румыния	0,26	0,57	0,40	1,51	0,61	0,24	0,25	0,023	0,036	34
ПАО «ММК им. Ильича»	0,24	0,46	0,45	1,72	0,86	0,26	0,05	0,019	0,012	31

Макро- и микроструктура поковки роликов МНЛЗ

Производители роликов	Неметаллические включения, балл по ГОСТ 1778-70			Макроструктура по сернистому отпечатку	Микроструктура
	оксиды	сульфиды	силикаты		
Румыния	1	1	0	равномерное мелкоточечное распределение ликватов по сечению	мелкодисперсный сорбит
ПАО «ММК им. Ильича»	2	1	0	равномерное мелкоточечное распределение ликватов по сечению	неоднородный грубодисперсный сорбит

крупнозернистую структуру. Также наблюдается зональная и дендритная неоднородность структуры (как результат наследственной литой структуры). Анализ качества металла поковок роликов МНЛЗ показал, что выбранный режим пластической деформации не позволяет добиться необходимой проработки металла, а также отмечена значительная неравномерность накопленной деформации, которая выражена в неоднородности структуры.

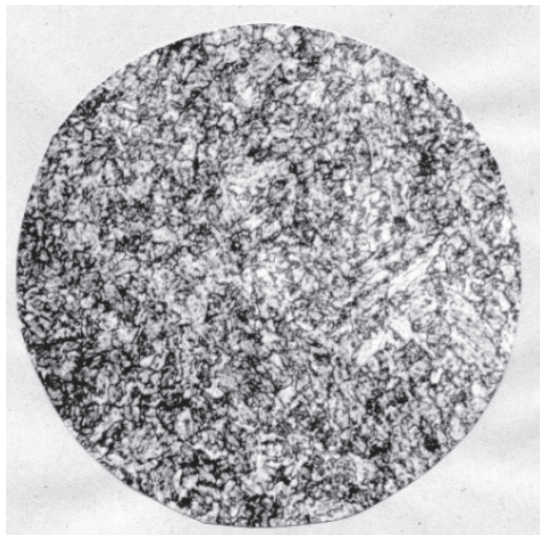
С целью дополнительного определения проработки структуры металла и выявления остаточной литой зональной неоднородности была откована проба по традиционной схемековки. Ковку производили по схеме квадрат-пластина-квадрат с обкаткой

на круг на последнем проходе, уков составил 2,7. Из изготовленной пробы отрезали темплет и отобразили образцы (рис. 2), которые подвергли термической обработке (закалке и отпуску). После этой операции определили механические свойства образцов (табл. 3).

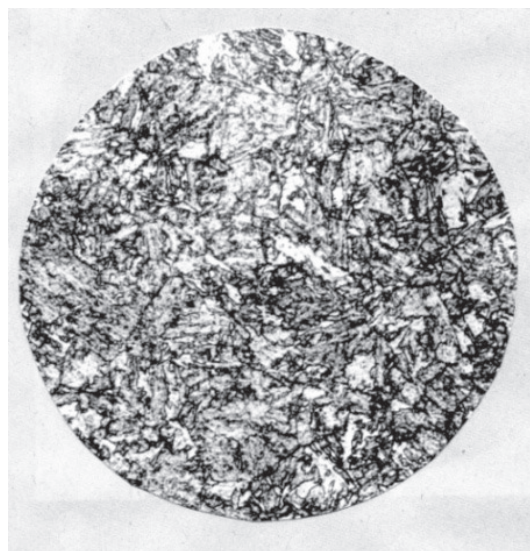
Таблица 3

Механические свойства отобранных образцов

Номер образца	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	Твердость, НВ
1	1290	1370	12,5	44,0	415
2	1210	1350	12,5	48,0	415
3	1210	1300	9,0	55,0	415
4	1020	1150	11,5	53,0	302
5	980	1110	10,5	60,0	302
6	970	1090	13,5	62,0	341



а



б

Рис. 1. Микроструктура металла от ролика: производства Румынии (а); производства ММК им. Ильича (б)

Анализ проведенных исследований показывает, что традиционные режимыковки не позволили в полной мере устранить неоднородность литой структуры. Отклонения по механическим свойствам достигли 33 % по сечению поковки, что отрицательно влияет на эксплуатационные характеристики полученной детали.

Специалисты ММК им. Ильича изучили современные способыковки поковок с удлиненной осью, которые позволяют добиться значительного улучшения качества макро- и микроструктуры металла [4-7]. В основу разработки нового технологического процесса заложены исследования и прикладные технические решения, направленные на использование необычных эффектов, возникающих в процессе деформации, реализуемые с наложением на обрабатываемую заготовку макросдвигов, то есть одну часть заготовки подвергают сдвигу относительно другой. Применение таких методовковки позволяет получать поковки с качественной макро-структурой при значительно меньших степенях укова (не более 2) и довольно высокими механическими свойствами при равных степенях укова [8].

Ниже даны обобщенные технические характеристики принципиальных способов воздействия на макро-структуру путем регулирования потоков пластического течения металла [9], отмеченные В. А. Тюриным: «увеличение количества потоков вытеснения металла в очаге деформации с целью интенсификации проработки металла в осевой зоне и по всему поперечному сечению слитка при ковке; изменение направления потоков вытеснения металла относительно главных осей изделия, в частности путемковки с непрямолинейным фронтом подачи;

Таблица 4

Механические свойства стали марки 25X1M1Ф, ковальной по новой технологии

Номер образца	σ_T , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	δ_5 , %	ψ , %	Твердость, НВ
1	1120	1250	11,5	53,0	382
2	1210	1300	11,5	50,0	400
3	1210	1300	9,0	55,0	415
4	1210	1350	12,5	48,0	415
5	1210	1350	12,5	48,0	415
6	1310	1390	12,5	44,0	415

феррито-перлитной структурой. Зерно поковки у поверхности и на глубине $\frac{1}{2}$ радиуса мелкое – 8, 7 номера, по оси – 8, 9 номера (рис. 3). Кроме того, отобрали образцы для определения механических свойств после дополнительной термической обработки (закалка и отпуск). Полученные результаты приведены в табл. 4.

Таким образом, проведенное металлографическое исследование пробы показало, что выбранный в результате математического моделирования режимковки позволил добиться достаточной проработки литой структуры и обеспечил получение более качественной микроструктуры как в сравнении с роликками МНЛЗ, откованными по традиционной технологии, так и с поковками румынского производства. Качество микроструктуры металла в значительной мере влияет на эксплуатационные характеристики детали, которые оцениваются механическими свойствами согласно ГОСТ 8479-70. Одной из базовых характеристик является физический или условный предел текучести металла. В табл. 5 представлены характеристики металла заготовок, которые получили путем анализа значений предела текучести (табл. 3, 4).

В результате изготовления поволоков по новой технологии добились увеличения на 9 % среднего значения предела текучести. Также удалось уменьшить с 29 до 16 % колебание предела текучести по сечению. Минимальное значение предела прочности (как одна из наиболее лимитирующих характеристик) увеличено на 15 %.

Выводы

Наиболее перспективное направление улучшения качества макро- и микроструктуры металла – это

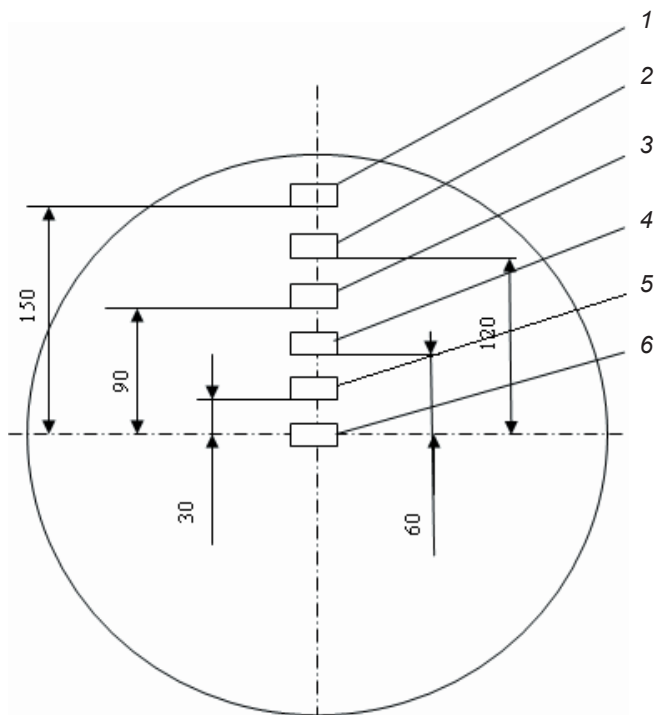


Рис. 2. Эскиз пробы для определения проработки структуры металла: 1-6 – номера образцов

накопление эффектов изменения направления течения металла с целью регулирования анизотропии металла; регулирование пластических потоков за счет изменения соотношения площадей свободных и контактных поверхностей, а также за счет изменения конфигурации свободных поверхностей заготовки; реализация дополнительных макросдвигов в очаге деформации».

Специалисты предприятия совместно с сотрудниками кафедры КШП ПГТУ провели математическое моделирование технологииковки ролика МНЛЗ методом конечных элементов. На основании полученных данных разработали и внедрили технологический процессковки роликков МНЛЗ с возникновением эффекта макросдвигов.

Для проведения оценки качества металла поволоков, изготовленных по новой технологии, изготовили пробу диаметром 200 мм и длиной 500 мм. Из пробы вырезали темплет для металлографических исследований. Исследования микроструктуры показали, что поковки, изготовленные по новой технологии, отличаются мелкозернистой и равномерной

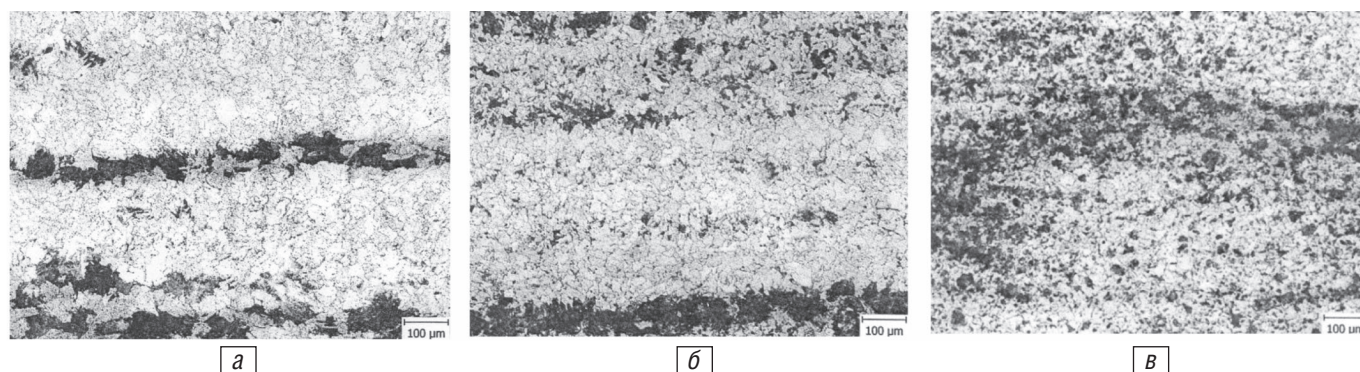


Рис. 3. Микроструктура металла \varnothing 200 мм от поковки из стали марки 25X1M1Ф, $\times 100$: на поверхности (а); на расстоянии $0,5 R$ (б); по оси, (в)

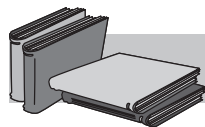
Таблиця 5

Характеристики металла заготовок

Режим ковки	$\sigma_{T \max}$ ³ Н/мм ²	$\sigma_{T \text{cp}}$ ³ Н/мм ²	$\sigma_{T \min}$ ³ Н/мм ²	$\sigma_{T \max} / \sigma_{T \text{cp}}$	$\sigma_{T \min} / \sigma_{T \text{cp}}$
1	1290	1113	970	1,16	0,87
2	1310	1212	1120	1,08	0,92

улучшение проработки литой структуры исходной заготовки при пластической деформации с исполь-

зованием ресурса макросдвиговых деформаций. Разработанная технологияковки поковки ролика МНЛЗ в комбинированных бойках с определенными механическими параметрами пластической деформации содействовала получению мелкозернистой структуры металла и значительному уменьшению наследственной структурной и химической неоднородности поковок, что улучшило стойкость и эксплуатационные характеристики изготавливаемых деталей.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ковка и объемная штамповка стали: Справочник. Т. 1 / Под ред. М. В. Сторожева. – М.: Машиностроение, 1967. – 436 с.
2. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства. – М.: Машиностроение, 1966. – 600 с.
3. Тарновский Н. Я. Свободная ковка на прессах. – М.: Машиностроение, 1967. – 327 с.
4. Антощенко Ю. М. Развитие теории процессов ковки с целью создания эффективных технологий производства сплошных и полых поволоков из слитков: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. – М.: МИСиС, 2002. – 47 с.
5. Орлов Е. Д. Повышение качества деформированных заготовок – ключ к обеспечению высокой надежности изделий ответственного назначения // Кузнечно-штамповочное произв-во. – 1993. – № 12. – С. 2.
6. Марков О. Е. Удосконалення ресурсозберігаючих технологічних процесів кування плит: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Краматорськ: Донбаська ДМА, 2003. – 19 с.
7. Василевский О. В., Кухарь В. В. Пути оптимизации технологических процессов ковки труднодеформируемых и малопластичных сталей // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 1. – С. 34-38.
8. Тюрин В. А. Дополнительные макросдвиги – технологические резервы ковки // Кузнечно-штамповочное произв-во. – 1993. – № 12. – С. 8-9.
9. Тюрин В. А. Инновационные технологии ковки с применением макросдвигов // Там же. – 2007. – № 11. – С. 15-20.

Анотація

Кирильченко П. М., Волошенко Є. П., Василевський О. В.
Шляхи поліпшення експлуатаційних характеристик
деталей металургійного обладнання

Проаналізовано вплив режимів кування на експлуатаційні характеристики деталей шляхом поліпшення макро- та мікроструктури металу. Наведено металографічні дослідження поволоков роликів машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ). Розглянуто впроваджену в умовах ПАТ «Маріупольський металургійний комбінат ім. Ілліча» технологію кування в комбінованих бойках, яка дозволила досягти поліпшення механічних властивостей металу на 10-20 % та зменшити нерівномірність структури.

Ключові слова

стійкість деталей, макроструктура, мікроструктура, кування, механічні властивості, нерівномірність структури

Summary

Kirilchenko P., Voloshenko E., Vasilevskiy O.
Means of improvement of metallurgical equipment components
operating characteristics

An analysis of forging mode influence on the operating characteristics of equipment components by means of macrostructure and microstructure improvement has been done. There are also presented the metallographic examinations of caster rolls forgings and review of implemented at the Ilyich Iron and Steel Works PJSC technology of forging in the combined dies, which allowed to improve the mechanical properties of the steel on 10-20 %, and to reduce the nonuniformity of the structure.

Keywords

components life time, macrostructure, microstructure, forging, mechanical properties, nonuniformity of the structure