

УДК 621.77.08

Иванов А. В.

ИССЛЕДОВАНИЕ МОРФОЛОГИИ ДЕФЕКТОВ, ВЫЯВЛЕННЫХ В СОРТОВОМ ПРОКАТЕ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ

Повышение конкурентоспособности и снижение себестоимости выпускаемой продукции – актуальная задача для металлургических предприятий Украины, которые значительную долю металлопроката поставляют в зарубежные страны. При этом к качеству выпускаемой продукции предъявляются высокие требования, в частности, к сплошности металла, которую не всегда удается обеспечить при переходе от дорогостоящей и низкопроизводительнойковки к прокатке.

В литературе встречаются различные причины получения брака по осевой несплошности. Основная причина этого – производство слитка с ликвациями, раковинами, пористостями (полученные при кристаллизации стали), с неоднородной макроструктурой, внутренними макро- и микротрещинами, высокое загрязнение неметаллическими включениями [1]. К факторам, которые способствуют получению плотной макроструктуры при прокате, можно отнести следующие: величину уклова [2], величину единичных обжатий [3], распределение температуры по сечению слитка [4]. При этом отсутствуют качественные и количественные показатели соотношения видов брака по осевой пористости слитка, незаварившейся при деформации.

Целью работы являлось исследование морфологических дефектов, обнаруженных при ультразвуковом контроле в сортовом прокате.

В данной работе представлены результаты исследований, проводившихся в промышленных условиях на ОАО «Днепроспецсталь», с целью определения степени влияния сталеплавильных и передельных факторов на получение качественного проката.

Схема производства включает в себя выплавку стали в открытых основных дуговых электропечах ёмкостью 60 тонн с внепечным вакуумированием и последующей сифонной разливкой в изложницы. Выплавленный металл, после стрипперования, поступает в прокатный цех горячим всадом на нагревательные рекуперативные колодцы, где после нагрева слитков осуществляется их прокатка на блюминге «1050/950», состоящем из дуо-реверсивных обжимной клетки 1050 и заготовочной клетки 950. В зависимости от развеса и марки стали слиток за 15–33 пропусков обжимается до требуемого сечения. После прокатки на обжимной клетки раскат поступает к ножницам 900 т, где обрезается прибыльная и донная части раската, затем он передается шлеперами на рольганг линии заготовочной клетки для прокатки сортового проката круглого сечения диаметром 135–275 мм. На заготовочной клетки из квадратной заготовки по системе квадрат – овал, овал – круг за 2–4 пропуска получают прокат круглого сечения диаметром 160–275 мм и за 4–6 пропусков по системе квадрат – ромб – квадрат – овал – круг получают прокат диаметром 135–150 мм. В табл. 1 приведена степень уклова в зависимости от конечного профиля и развеса слитка. Порезка сортового проката на необходимые длины производится на роторно-ударных пилах. Охлаждение металла после прокатки производится в зависимости от марки стали либо в неотопливаемых колодцах (ямах), либо на воздухе. В зависимости от марки стали время охлаждения может колебаться от 24 до 144 часов. Затем металл передается на адьюстаж, где он подвергается правке и последующей обточке на бесцентровотокарных станках, далее прутки подвергались ультразвуковому контролю (УЗК) на соответствие требованиям ГОСТ 21120-75 с помощью прибора УСК-8Б. При обнаружении дефектов от забракованной партии (штанг одной плавки и профиля) отбиралась проба, которая подвергалась травлению, шлифованию и затем исследовалась на современных электронных микроскопах.

Таблица 1

Таблицы значений укова при прокатке на стане 1050/950

М	Н × В	Фсл.	140	145	150	155	160	165	170	175	180	185	190
3700	4,7 × 4,7	20,85	13,5	12,6	11,8	11,0	10,4	9,8	9,2	8,7	8,2	7,8	7,4
4360, 4800	5,4 × 5,4	27,80	18,1	16,8	15,7	14,7	13,8	13,0	12,2	11,6	10,9	10,3	9,8
6550	5,8 × 5,8	32,95	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
М	Н × В	Фсл.	200	210	215	220	225	230	235	240	250	260	275
3700	4,7 × 4,7	20,85	6,6	6,0	5,7	5,5	5,2	*	*	*	*	*	*
4360, 4800	5,4 × 5,4	27,80	8,8	8,0	7,7	7,3	7,0	6,7	6,4	6,1	5,7	5,2	4,7
6550	5,8 × 5,8	32,95	10,5	9,5	9,1	8,7	8,3	7,9	7,6	7,3	6,7	6,2	5,5

М – масса слитка, кг; Н × В – размеры нижнего сечения слитка, дм; * – из слитков данного развеса прутки указанного сечения не производятся.

За 2010 г. отобраны пробы от 316 партий прутков для проведения исследований на определение вида дефекта, выявленного ультразвуковым контролем. Общий вес отбраковки составил 1587 т (1072 штанги). В таблице 2 представлены данные с указанием вида дефекта для следующих групп марок сталей: конструкционные (углеродистые), коррозионно-стойкие, подшипниковые. Для удобства анализа построены диаграммы рис. 1–4 для каждой группы марок сталей.

Как видно из табл. 1, основные причины брака, выявленного при ультразвуковом контроле, это – темная корочка по классификации ОСТ 1438-79. С помощью растрового электронного микроскопа с автоэмиссионной пушкой «SUPRA 40 WDS» и аналитической приставкой производства фирмы «OXFORD Instruments» удалось установить, что в конструкционных сталях преобладающим типом включений, образующих дефект «темная корочка», являются оксиды алюминия, магнезиальная шпинель, алюминаты кальция. В нержавеющих сталях, кроме этого, наблюдается большое содержание нитридов и оксидов титана. По вышеуказанной причине забраковано 90,7 % коррозионно-стойких сталей и 56,5 % конструкционных сталей. Также к дефектам сталеплавильного производства можно отнести шлаковые включения, которые попадают в изложницу из ковша вместе с металлом и не успевают всплыть кверху при застывании металла, а также загрязнения. Суммарная доля этих дефектов не превышает 6,3 % на всех исследованных марках сталей.

Осевая пористость (согласно ОСТ 1438-79) – это дефект макроструктуры слитка, характеризующийся скоплением мелких пустот усадочного происхождения в осевой зоне, которые при деформации и соблюдении соответствующих условий должны завариваться. Все проходы осуществляются при факторе формы 0,26–0,5, это позволяет сделать вывод о том, что пластическая деформация не проникает на всю глубину сечения [5], что в свою очередь и является причиной непроработки осевых, наиболее дефектных слоев. Как видно из табл. 2, по данному дефекту в основном отбракованы конструкционные марки стали.

Дефекты, классифицируемые как трещины напряжения, могут иметь различные причины образования, к которым следует отнести: высокую скорость охлаждения слитка или металлопроката, высокую скорость нагрева металла под прокат, низкую температуру загрузки металла в колодец охлаждения и др.

Наиболее вероятными причинами брака по флокенам могут быть неглубокое вакуумирование или высокая скорость охлаждения металлопроката. Так как по данному дефекту исследована одна проба, то рассматривать его как системный не имеет смысла.

Микропоры – это дефекты, вызванные высокой температурой нагрева под прокат. Этот дефект характерен для подшипниковых марок сталей – 73,7 %, на конструкционных

сталих данный дефект обнаружен всего на 1 пробе из 225 исследованных. Следует обратить внимание на то, что от прутков из подшипниковых сталей отобрано всего 11 проб, что не позволяет с достаточной степенью точности установить качественную зависимость вида дефекта.

Таблица 2

Отбраковка при ультразвуковом контроле по группам марок сталей

Все марки стали						
Классификация дефекта	Отбраковка				Кол-во отобранных проб, шт	Кол-во отобранных проб, %
	Вес, т	Вес, %	Кол-во штанг, шт	Кол-во штанг, %		
темная корочка	1013,31	63,9 %	737,5	68,9 %	210	66,5 %
осевая пористость	408,95	25,8 %	212,0	19,8 %	71	22,5 %
шлаковые включения	51,36	3,2 %	30,0	2,8 %	12	3,8 %
загрязнения	48,55	3,1 %	35,5	3,3 %	13	4,1 %
трещины напряжения	9,96	0,6 %	4,0	0,4 %	2	0,6 %
микропоры	41,90	2,6 %	45,0	4,2 %	7	2,2 %
флокены	12,30	0,8 %	7,0	0,7 %	1	0,3 %
	1586,32		1071		316	
Конструкционные стали						
Классификация дефекта	Отбраковка				Кол-во отобранных проб, шт	Кол-во отобранных проб, %
	Вес, т	Вес, %	Кол-во штанг, шт	Кол-во штанг, %		
темная корочка	646,5	56,5 %	399,0	60,5 %	135	60,0 %
осевая пористость	385,3	33,7 %	194,5	29,5 %	66	29,3 %
шлаковые включения	51,0	4,5 %	29,0	4,4 %	11	4,9 %
загрязнения	35,2	3,1 %	23,5	3,6 %	9	4,0 %
трещины напряжения	10,0	0,9 %	4,0	0,6 %	2	0,9 %
микропоры	3,5	0,3 %	3,0	0,5 %	1	0,4 %
флокены	12,3	1,1 %	7,0	1,1 %	1	0,4 %
	1143,7		660		225	
Коррозионно-стойкие стали						
Классификация дефекта	Отбраковка				Кол-во отобранных проб, шт	Кол-во отобранных проб, %
	Вес, т	Вес, %	Кол-во штанг, шт	Кол-во штанг, %		
темная корочка	354,14	90,7 %	327,5	91,99 %	72	90,0 %
осевая пористость	22,96	5,9 %	16,5	4,63 %	4	5,0 %
загрязнения	13,36	3,4 %	12	3,37 %	4	5,0 %
	390,46		356		80	
Подшипниковые стали						
Классификация дефекта	Отбраковка				Кол-во отобранных проб, шт	Кол-во отобранных проб, %
	Вес, т	Вес, %	Кол-во штанг, шт	Кол-во штанг, %		
темная корочка	12,7	24,4 %	11	20,0 %	3	27,3 %
осевая пористость	0,7	1,2 %	1	1,8 %	1	9,1 %
шлаковые включения	0,4	0,7 %	1	1,8 %	1	9,1 %
микропоры	38,4	73,7 %	42	76,4 %	6	54,5 %
	52,1		55		11	

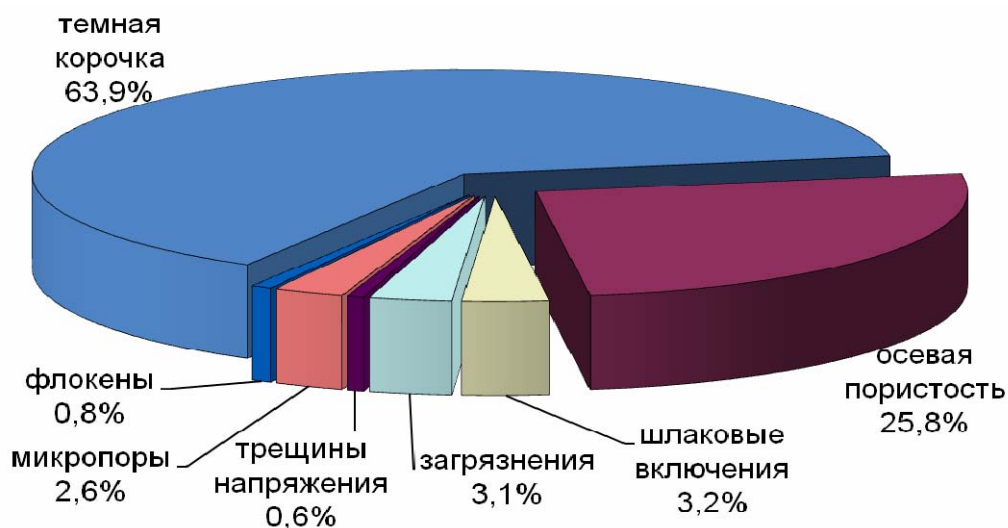


Рис. 1. Соотношение видов дефектов, выявленных при УЗК

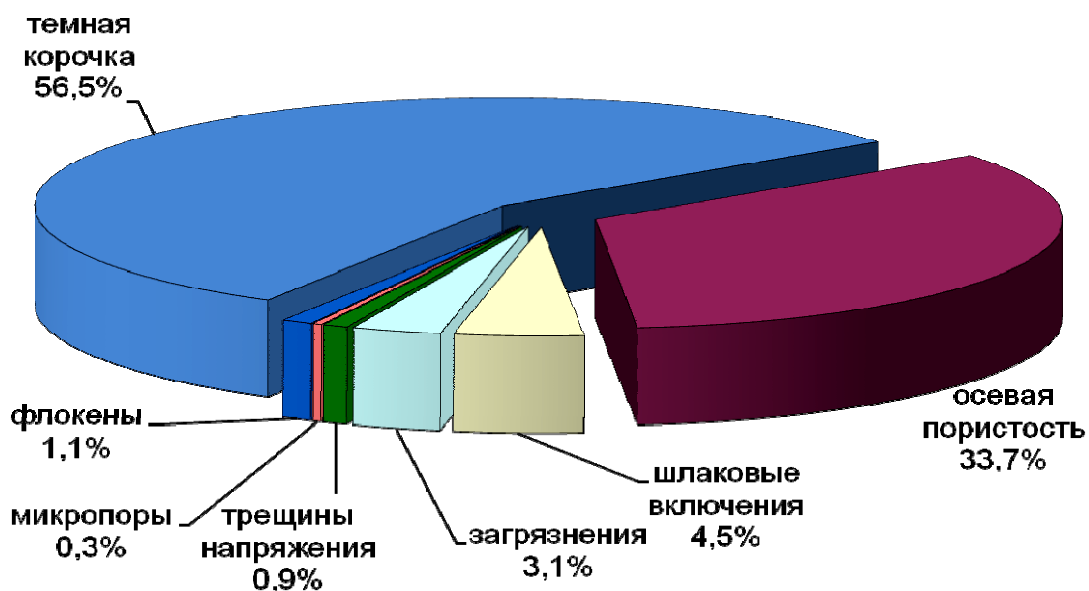


Рис. 2. Соотношение видов дефектов, выявленных при УЗК (конструкционные марки)

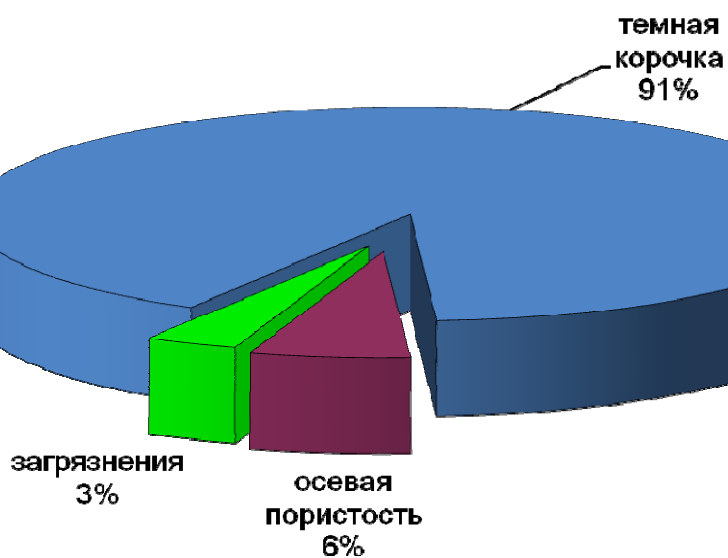


Рис. 3. Соотношение видов дефектов, выявленных при УЗК (коррозионно-стойкие стали)

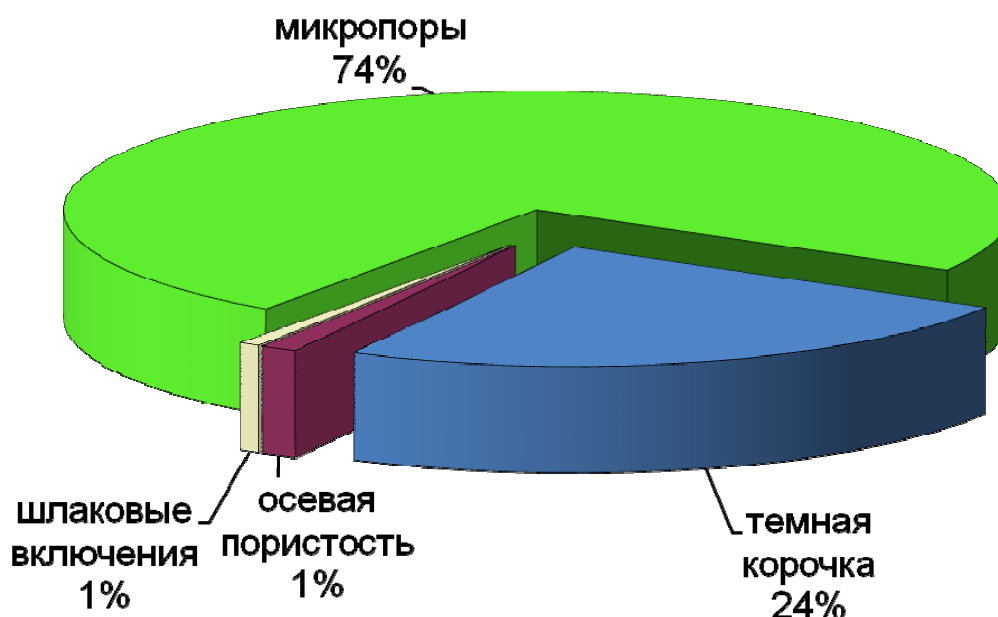


Рис. 4. Соотношение видов дефектов, выявленных при УЗК (подшипниковые стали)

ВЫВОДЫ

Проведено исследование в условиях ОАО «Днепроспецсталь» 316 проб на определение вида дефекта, выявленного ультразвуковым контролем, при этом общий вес отбраковки составил 1587 т (1072 штанги). Результаты показали, что основная причина получения металлопроката с несплошностями связано с технологией сталеплавильного производства, особенно это характерно для коррозионно-стойких и, в меньшей мере, для подшипниковых марок сталей.

Путем подбора оптимального температурно-деформационного режима возможно добиться снижения уровня брака до 34,9 % на конструкционных, до 5,9 % на коррозионно-стойких и до 74,9 % на подшипниковых марках сталей.

Определена качественная зависимость морфологии дефекта, выявленного при ультразвуковом контроле, для конструкционных, коррозионно-стойких и подшипниковых марок сталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тюрин В. А. Теория и процессы ковки слитков на прессах / В. А. Тюрин. – М. : Машиностроение, 1979. – 240 с.
2. Диомидов Б. Б. Технология прокатного производства / Б. Б. Диомидов, Н. В. Литовченко. – М. : Металлургия, 1979. – 489 с.
3. Чижиков Ю. М. Прокатываемость стали и сплавов / Ю. М. Чижиков. – М. : Metallurgizdat, 1961. – 451 с.
4. Онищенко А. К. Аналитическое исследование ковки крупных поковок с учетом температурной неоднородности материала / А. К. Онищенко, А. А. Мишулин // Кузнечно-штамповочное производство. – 2006. – № 10. – С. 15–19.
5. Теория прокатки крупных слитков / А. П. Чекмарев, В. Л. Павлов, В. И. Мелешко, В. А. Токарев. – М. : Металлургия, 1968. – 252 с.

Иванов А. В. – аспирант ЗНТУ.

ЗНТУ – Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье.

E-mail: ivanov_av@ua.fm