

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ СВАРНЫХ ЗАГОТОВОК ПОЛОТЕН ЛЕНТОЧНЫХ ПИЛ ИЗ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

М.К. Ключкин



**КЛЮШКИН
Максим
Константинович**

Аспирант очной формы обучения Московского государственного индустриального университета (МГИУ). Специализируется в области сварочных технологий и повышения ресурса сварных ленточных пил для раскроя заготовок из различных материалов. Автор 3 научных публикаций.

Введение

Пиление ленточной пилой – простой, дешевый и экономически выгодный способ распиловки, обеспечивающий вполне удовлетворительные результаты при раскрое различных материалов. В настоящее время существуют достаточно совершенные методы электронного управления ленточнопильными станками с целью получения оптимального выхода пиломатериалов, постоянно совершенствуется оборудование по уходу за пильными лентами.

Производители пил для раскроя древесных материалов проявляют серьезный интерес к высокоуглеродистым инструментальным сталям, предназначенным для изготовления высокопроизводительного инструмента. Основное свойство этих сталей – высокая теплостойкость, которая обеспечивается введением вольфрама совместно с другими карбидообразующими элементами, а также кобальтом. Инструмент из этих сталей сохраняет высокую твердость вплоть до температуры нагрева 600–650 °С и допускает в 3–5 раз более производительные режимы резания, чем изготовленный из сталей, не обладающих теплостойкостью. Высокие режущие свойства сталь приобретает после отжига. Химический состав типичных высокоуглеродистых инструментальных сталей приведен в табл. 1.

Структура высокоуглеродистых инструментальных сталей состоит из карбидной эвтектики и сорбитообразного перлита и имеет мелкое зерно. Характерной особенностью этих сталей является наличие избыточных заэвтектоидных карбидов вольфрама и ванадия, стойких к растворению при нагреве.

Для получения сварных ленточных пил из высокоуглеродистых инструментальных сталей используется стыковая сварка оплавлением. Качественное сварное соединение образуется при

Таблица 1

Химический состав углеродистых инструментальных сталей для изготовления ленточных пил

Марка стали	Химический состав, %									
	C	Mn	Si	Cr	W	V	S	P	Cu	Ni
11X Ф	1,05-1,15	0,40-0,70	0,15-0,35	0,40-0,70	-	0,15-0,30	<0,030	<0,030	-	-
ХВГ	0,90-1,05	0,8-1,1	0,15-0,35	0,9-1,2	1,2-1,6	-	<0,030	<0,030	0,15	-
CR400	0,80-0,95	0,15-0,40	0,15-0,35	3,5-4,4	5,30-7,20	1,2-1,7	<0,030	<0,030	<0,3	<0,35
13X	1,25-1,4	0,3-0,6	0,15-0,35	0,40-0,70	-	-	<0,030	<0,030	-	0,12-0,18

полном выдавливании в процессе осадки из стыка всей жидкой фазы вместе с загрязнениями.

Анализ эксплуатационных характеристик сварных ленточных пил показал, что срок их работы до разрушения полотна в зоне соединения изменяется в довольно широких пределах – от 20 до 600 часов, причем такой разброс наблюдается при сварке полотен из одной и той же партии исходного материала.

Поэтому актуальным является повышение стабильности эксплуатационных характеристик сварных ленточных пил за счет оптимизации параметров стыковой сварки оплавлением и разработки дополнительных технологических мер, включающих зональную термическую обработку сварного соединения для повышения твердости в зоне соединения.

В данной статье приведены результаты исследований свойств и структуры сварных соединений ленточных пил из стали CR400, полученных контактной сваркой оплавлением, как типичного представителя класса инструментальных углеродистых сталей, применяемых для изготовления режущего инструмента.

Методика проведения исследований и оборудование

Сварка ленточных пил производилась на сварочном аппарате IDEAL (Германия) контактной стыковой сваркой оплавлением. Для точного поддержания температуры нагрева торцов деталей и температуры отжига сварочный аппарат снабжен автоматическим регулятором отжига. В конструкцию автоматического регуля-

тора отжига входят пирометрический датчик инфракрасного диапазона, приемник инфракрасного излучения, лазерная указка и исполнительный механизм. Лазерная указка, установленная в корпусе датчика, показывает точку на поверхности пилы, в которой измеряется температура. Исполнительный механизм выполнен в виде оптического семистора типа ТСО 142-40(25)-12(10), регулирующего подачу тока на первичную обмотку трансформатора в зависимости от сигнала, полученного от блока управления и датчика фазы.

Исследования макро- и микроструктуры сварного соединения осуществляли с помощью оптического микроскопа «Neophot-2» при увеличении в 100–250 раз.

Результаты исследований

На рис. 1 показана макроструктура сварного соединения ленточной пилы из стали CR400, выполненного стыковой сваркой оплавлением. Анализ представленной макроструктуры показывает, что в зоне соединения присутствует зона обезуг-



Рис. 1. Макроструктура сварного соединения ленточной пилы из стали CR400

лероживания (светлая полоса). Формирование зоны обезуглероживания, по-видимому, связано с интенсивным образованием окиси углерода при оплавлении при умеренных скоростях оплавления и осадки.

Типовые структурные зоны сварного соединения ленточных пил из стали CR400, полученных стыковой сваркой оплавлением, показаны на рис. 2. Чередование структурных зон в соеди-

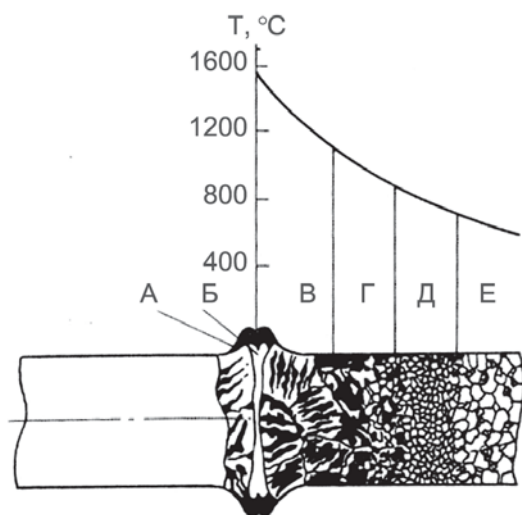


Рис. 2. Структура ленточных пил, сваренных методом оплавления:
А – грат; Б – зона обезуглероживания;
В – зона укрупненного зерна;
Г – зона постепенного перехода к мелкозернистой структуре;
Д – зона перекристаллизации;
Е – основной металл

нении происходит в соответствии с распределением температур. Нагрев до 1300–1350 °C приводит к увеличению количества и размеров δ -эвтектоида, а ледебурит приобретает форму отдельных изолированных включений. Длительная выдержка вблизи температур образования жидкой фазы изменяет форму карбидов. Они становятся более угловатыми и крупными (левый край зоны В, примыкающий к зоне обезуглероживания).

При нагреве в диапазоне 1320–1330 °C наблюдается переход стали CR400 в область начала формирования δ -эвтектоида и первых порций жидкой фазы [1]. Такой нагрев соответствует началу оплавления и образования по границам зерен сетки эвтектики. Нагрев до 1300–1310 °C приводит к скачкообразному росту зерна и

возникновению карбидной сетки в приграничных слоях (зона В) при охлаждении.

При температуре нагрева до 1000–1050 °C мелкие карбиды растворяются (зона Г). В пределах зоны Г намечается постепенный переход к мелкозернистой структуре, характерной для стали CR400 после отпуска и состоящей из сорбитообразного перлита и небольшого количества избыточного феррита (зона Д).

Распределение твердости в соединении стали CR400 от стыка представлено на рис. 3

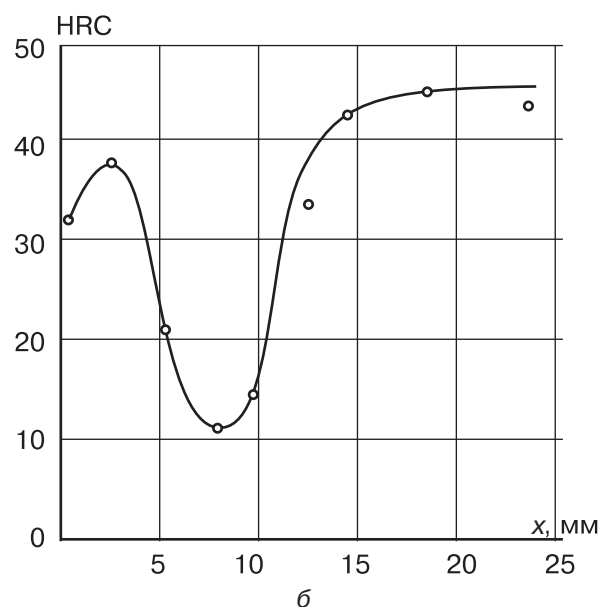
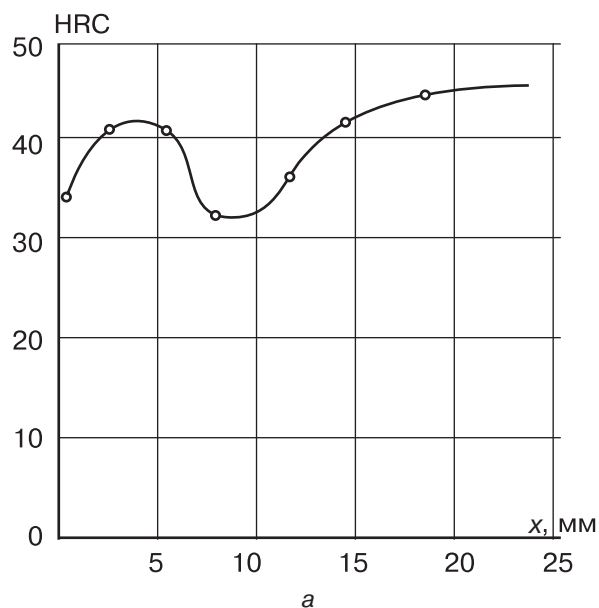


Рис. 3. Распределение твердости в сварном соединении ленточных пил из стали CR400 непосредственно после стыковой сварки оплавлением (а) и после отпуска (б)

(х-осевая координата, отсчитываемая от стыка). Из представленных данных видно, что падение твердости в самом контакте объясняется обезуглероживанием оплавляемых поверхностей заготовок. Падение твердости в зоне В можно объяснить ростом зерна и выделением карби-

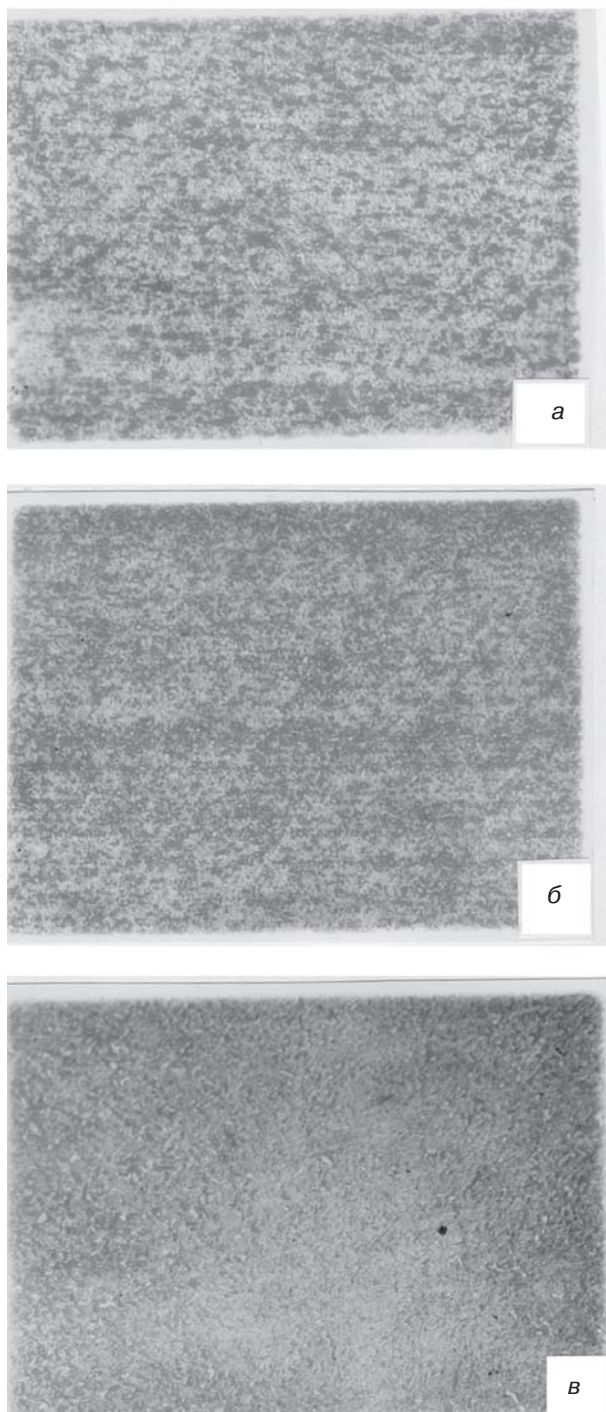


Рис. 4. Микроструктура основного металла (а), шва (б) и зоны термического влияния (в) сварного соединения ленточной пилы из стали CR400 после отпуска (х150)

дов в приграничной зоне зерен (рис. 3, а) [2].

Проведение отжига после сварки, включающего нагрев до температуры 450–470 °С и выдержку в течение 30–300 с (рекомендован фирмой Rentgen – производителем стали CR400), приводит к постепенному выравниванию распределения твердости. У стали CR400, содержащей хром и вольфрам на нижнем допустимом пределе (3,5% и 5,3%, соответственно), полного восстановления твердости после отпуска не наблюдается (рис. 3, б).

Микроструктура шва и зоны термического влияния стали CR400 (зона В) после отпуска показана на рис. 4. Анализ представленной структуры позволяет заключить, что проведение отпуска приводит к выделению в структуре мартенсита и карбидов, а также измельчению зерна.

Сравнение длительности наработки различных пильных лент до разрушения с результатами микроанализа на содержание легирующих элементов показал, что наименьшую длительность наработки до разрушения полотна имела пила из стали CR400, содержащая углерод, хром и вольфрам на нижнем допустимом пределе и отожженная после сварки по следующему режиму: температура нагрева 450 °С, время выдержки 150 с. В табл. 2 представлено содержание легирующих элементов в стали CR400 по сортаменту, а также содержание легирующих элементов в карбидах и твердом растворе. Из приведенных данных видно, что углерод, хром и вольфрам, в основном, находятся в составе карбидов.

Изучение характера разрушения соединения ленточной пилы показало, что оно происходит чаще всего по зоне обезуглероживания (зона Б), и иногда по зоне крупного зерна (зона В).

Результаты исследования свидетельствуют о том, что для получения высокой эксплуатационной надежности сварных полотен ленточных пил из стали CR400 необходимо корректировать режим отпуска. При этом температура нагрева при отпуске должна быть согласована с фактическим содержанием хрома и вольфрама в стали.

Автором было исследовано влияние температуры нагрева при отпуске сварных соедине-

Таблица 2

Результаты микроанализа на содержание легирующих элементов
в различных структурных составляющих стали CR400

Структурные составляющие	Содержание легирующих элементов, %			
	C	W	Cr	V
CR400 по сортаменту	0,80 – 0,95	5,30 – 7,20	3,5 – 4,4	1,2 – 1,7
Твердый раствор	0 – 0,03	1,30 – 1,50	2,33 – 2,50	0,46 – 0,58
Карбиды	4,5 – 5,2	43,5 – 44,3	12,5 – 12,8	10,2 – 10,9

Таблица 3

Влияние температуры отпуска сварного соединения ленточной пилы из стали CR400
на твердость и время наработки до разрушения в зависимости от содержания хрома и вольфрама

Содержание, %		Время выдержки, с	Температура нагрева, °C	Твердость HRC		Наработка до разрушения, ч
Cr	W			Зона Б	Зона В	
5,3	3,5	180	450	28	35	34 – 40
			480	30	37	130 – 155
			500	35	39	270 – 360
			520	38	42	430 – 500
			550	39	42	380 – 400
			600	35	37	230 – 300
			620	34	34	210 – 280
7,2	4,4	180	450	37	41	350 – 450
			480	39	44	450 – 500
			500	40	44	450 – 500
			520	41	45	450 – 500
			550	38	41	350 – 380
			600	37	39	250 – 300
			620	36	37	220 – 260

ний ленточных пил из стали CR400 с различным содержанием хрома и вольфрама на твердость зоны сварного соединения и на время наработки полотна до разрушения при эксплуатации. Полученные результаты, приведенные в табл. 3, свидетельствуют о том, что при содержании вольфрама и хрома в стали CR400 на нижнем допустимом пределе для повышения времени наработки до разрушения следует увеличить температуру отпуска до 500–550 °C. В этом случае в зоне Б наблюдается рост твердости за счет диффузии углерода из близлежащих зон соеди-

нения. В зоне В отмечается выделение мартенсита и карбидов без заметных участков аустенита. При дальнейшем увеличении температуры отпуска до 600–620 °C усиливается выделение карбидов, вызывающее распад мартенсита и снижение твердости материала.

На основании полученных результатов можно заключить, что для стали CR400 с содержанием вольфрама и хрома на нижнем допустимом пределе следует увеличить температуру отпуска до 520–550 °C по сравнению с материалом, содержащим указанные элементы на верх-

Таблица 4

Микротвердость различных зон, обработанных лазерным излучением

Марка стали	Микротвердость Н ₅₀ МПа		
	исходная	в перекрытых зонах	в неперекрытых зонах
11ХФ	790	830	940
ХВГ	740	920	740
13Х	690	960	470
CR400	760	980	480

Примечание: микротвердость определялась при нагрузке Р = 50 гс (0,49 Н).

нем уровне концентрации (температура отпуска 450–480 °С).

В настоящее время проявляется значительный интерес к применению лазерного термоупрочнения для повышения эксплуатационных характеристик ленточных пил из углеродистых сталей [3]. Лазерное термоупрочнение отличается высокой локальностью обработки, точным дозированием количества вводимой энергии, высокими скоростями нагрева и охлаждения и относительно простой автоматизацией процесса.

Лазерное термоупрочнение возможно осуществлять без и с оплавлением поверхности. В последнем случае процесс происходит при температуре поверхности, превосходящей температуру плавления материала, и характеризуется большими размерами зоны лазерного воздействия и более выраженной неоднородностью структуры упрочненного поверхностного слоя по сравнению с термоупрочнением без оплавления. Структура в этом случае состоит, как минимум, из трех слоев: слоя с дендритным строением, характерным для автозаковки из жидкого состояния; зоны закалки и зоны отпуска. Свойства слоев зависят от химического состава материала.

Выполненные в рамках данной работы экспериментальные исследования показали, что при такой обработке углеродистой стали CR400 принципиальных отличий в структуре и свойствах в варианте без оплавления и с оплавлением поверхности нет.

Параметрами импульсного лазерного упрочнения, определяющими эффективность упрочнения и повышение стойкости инструмента, являются плотность энергии, длительность им-

пульса лазерного излучения, диаметр сфокусированного пятна, коэффициент перекрытия и частота следования импульсов лазерного излучения [4]. Геометрия формирования поверхности, упрочненной импульсным лазерным излучением, достигается последовательным наложением зон воздействия луча лазера на упрочняемую поверхность с определенным коэффициентом перекрытия.

Измерение микротвердости при импульсном лазерном упрочнении поверхности показало, что повышение стойкости режущего инструмента зависит от количественного соотношения перекрытых и неперекрытых зон, образующихся при наложении зон закалки при воздействии импульсного лазерного излучения на обрабатываемую поверхность. Сравнительные значения микротвердости поверхности при максимально допустимых плотностях энергии, обеспечивающих обработку с оплавлением поверхности на глубину 0,05–0,1 мм, для различных инструментальных сталей приведены в табл. 4.

Анализ данных табл. 4 показывает, что для всех рассматриваемых марок углеродистых инструментальных сталей отмечен рост микротвердости. При этом режим упрочнения должен обеспечивать перекрытие зон обработки. Указанное условие является обязательным для получения эффекта повышения стойкости режущего инструмента после лазерного упрочнения.

Заключение

Таким образом, при лазерном термоупрочнении в зоне сварного соединения ленточной пилы при стыковой сварке оплавлением получается слоистый материал, состоящий из твер-

дых поверхностных слоев, структура которых формируется при высоких скоростях охлаждения при лазерном упрочнении, и относительно мягкой сердцевины.

Применение импульсного лазерного излучения для термоупрочнения полотен ленточных пил из стали CR400 в зоне расположения сварного шва позволило увеличить их наработку до разрушения до 750–800 час. при высокой стабильности значения данного показателя. На основании полученных результатов разработаны режимы лазерного термоупрочнения сварного шва заготовок ленточных пил для обработки древесных материалов, обеспечивающие существенное повышение стойкости инструмента.

Список литературы

1. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 537 с.
2. Гуляев А.П., Малинина К.А., Саверина С.М. Инструментальные стали: Справочник. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1975 – 272 с.
3. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособ. для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им Н.Э. Баумана, 2006. – 664 с.
4. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989. – 304 с.