

ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЯНУЩЕГО БАРАБАНА ВОЛОЧИЛЬНОГО СТАНА АДДИТИВНЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ

*Л.В. Радионова, М.Н. Самодурова, С.Р. Фаизов,
В.В. Быков, М.А. Гордиевских*

В данной работе приведены результаты исследования упрочняющей поверхностной обработки тянущего барабана волочильного стана методами аддитивных технологий. Лазерная наплавка порошкового материала Fe-4,5Cr-4,5Mo-5,5W-4V на рабочую поверхность барабана обеспечила получение износостойкого слоя с твердостью 52-54 HRC толщиной более 1,5 мм.

Ключевые слова: аддитивные технологии, лазерная наплавка, волочильный стан, детонационное напыление, прямое лазерное сплавление.

Введение

Волочение основной способ для получения проволоки, как товарной, так и в виде заготовки для производства метизов, например, гвоздей, сетки, крепежа, канатов. В качестве основного оборудования для изготовления проволоки применяются волочильные станы различного типа [1], но все их объединяет наличие таких конструктивных элементов как тянущий барабан, «мыльница» с волокодержателем, волока, двигатель, редуктор и станина.

На кафедре «Процессы и машины обработки металлов давлением» для научно-исследовательских целей, а также для осуществления обучения специалистов в области метизного производства был сконструирован и изготовлен одно и многократный волочильный стан (рис. 1) [2, 3].

При проектировании волочильного стана перед конструкторами встает вопрос, как и из какого материала изготовить тянущий барабан. Тянущий барабан волочильного стана является одним из наиболее нагруженных узлов, поверхность которого в процессе эксплуатации подвергается износу, кроме того конструктивные особенности его требуют существенной механической обработки, что значительно повышает его стоимость. Для осуществления процесса волочения поверхность барабана должна быть гладкой и твёрдой, чтобы проволока могла скользить по барабану, а нижний виток

мог выталкивать вверх по поверхности барабана накопленные витки. В связи с этим в качестве заготовки для изготовления была выбрана толстостенная труба из стали марок 40Х, а для создания функционального рабочего слоя на его поверхности предполагалось применить упрочняющую обработку, такую как наплавка.

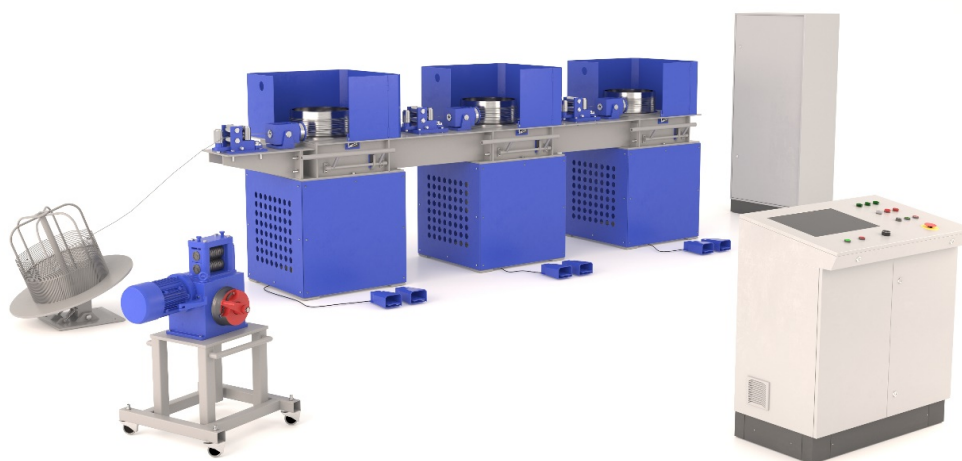


Рис. 1. Общий вид прямомоточного стана ЮУрГУ

Для осуществления наплавки и получения износостойкого поверхностного слоя тянущего барабана использовались возможности лаборатории «Механики, лазерных процессов и цифровых производственных технологий» ЮУрГУ, а именно комплекс КЛС на базе LaserClad 4 C R120, оснащенный иттербиевым волоконным лазером ЛС-4 и промышленным роботоманипулятором KUKA KR-120 и детонационный комплекс ССДС2000 [4].

Целью настоящей работы является разработка технологии получения функционального поверхностного слоя тянущего барабана волочильного стана с повышенными эксплуатационными свойствами.

Экспериментальные исследования

Поскольку тянущий барабан (рис. 2) является изделием достаточно массивным, диаметр его составляет 400 мм, а масса более 50 кг, то обработку технологии получения функционального слоя осуществляли на моделирующих образцах (рис. 3).

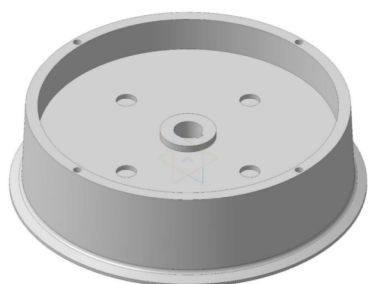


Рис. 2. Тянущий барабан



Рис. 3. Образцы (подложка) из марки стали 40Х

Для получения функционального поверхностного слоя было рассмотрено два метода упрочнения поверхности: детонационное напыление с последующим проправлением нанесенного слоя лазером и лазерная наплавка порошкового материала.

Для детонационного напыления был выбран порошок компании Castoline под номером 55586С (WC-10Co-4Cr), а для прямого лазерного сплавления порошок EuTroLoy® 16606 (Fe-4,5Cr-4,5Mo-5,5W-4V). Порошок на основе карбида вольфрама (WC-10Co-4Cr) применяется для защиты от износа и коррозии при температуре ниже 480 °С. Порошок Fe-4,5Cr-4,5Mo-5,5W-4V обладает отличной износостойкостью при работе до 500 °С.

Поверхность образцов (подложки) из марки стали 40Х (см. рис. 3) перед нанесением упрочняющего слоя подверглась зачистке в абразивоструйной кабине.

При упрочнении детонационным методом с последующим проплавлением на подложку было сделано 35 выстрелов порошком на основе карбида вольфрама WC-10Co-4Cr. Полученное покрытие было равномерным. Для исследования микроструктуры и определения микротвердости изготавливались металлографические шлифы. Травление образцов осуществлялось 3 % раствором азотной кислоты в этиловом спирте. Металлографическое исследование показало, что толщина покрытия в пределах 0,25 мм (рис. 4), покрытие очень плотное и равномерное. Зона сцепления покрытия с основным металлом приведена на рис. 5. Эксплуатационные свойства поверхностного слоя оценивались через твердость. Определение микротвердости осуществлялось с помощью универсального стационарного твердомера HV-1000 (табл. 1). Результаты замера и перевод полученных значений в единицы HRC приведены в табл. 1.

После детонационного напыления полученный слой был подвергнут проплавлению на лазерной установке. В ходе металлографических исследований было выявлено, что в слое образовались трещины и присутствуют поры (рис. 7).

Таблица 1
Результаты измерения твердости поверхностного слоя,
полученного детонационным напылением

Номер измерения	1	2	3	4	5
Твердость, HV	840	733	763	763	727
Твердость, HRC	65,3	61,8	62,5	62,5	61,5

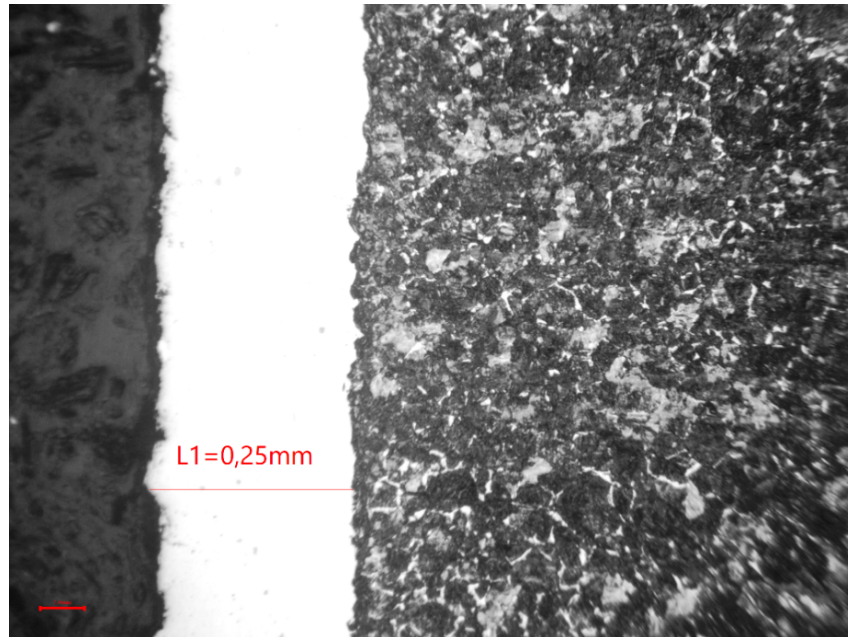


Рис. 4. Слой детонационного напыления (x100)

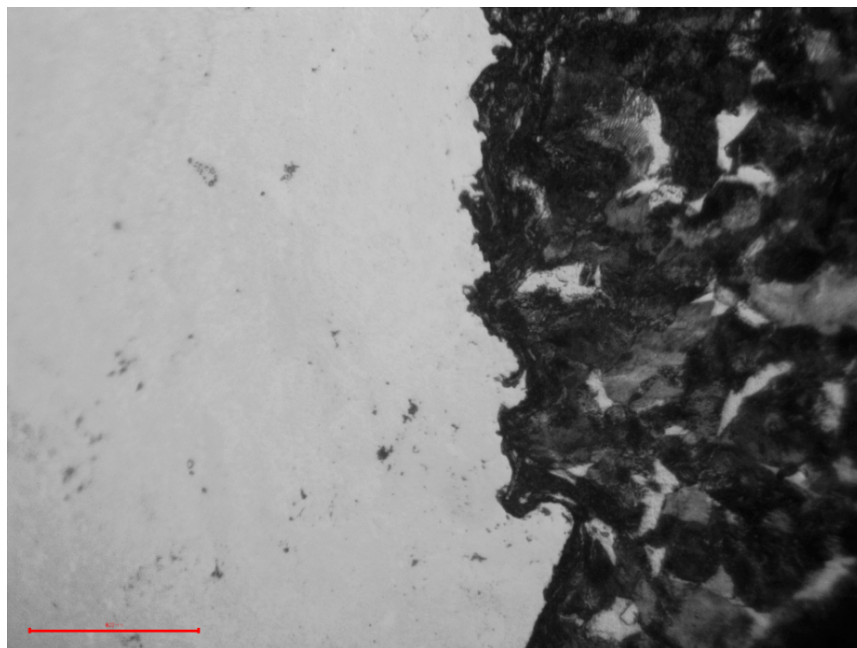


Рис. 5. Зона сцепления основного металла
и нанесенного слоя (x500)

Причиной образования трещин, на наш взгляд, является существенная разница в коэффициентах теплового линейного расширения стали 40Х ($14 \cdot 10^{-6}$ 1/К) и сплавом на основе карбида вольфрама ($3,9 \cdot 10^{-6}$ 1/К). Толщина проплавленного слоя по всей поверхности варьируется в пределах от 0,41 мм до 0,67 мм (см. рис. 7). Измерения микротвердости осуществлялись по схеме, приведенной на рис. 7, а результаты этих замеров приведены в табл. 2.

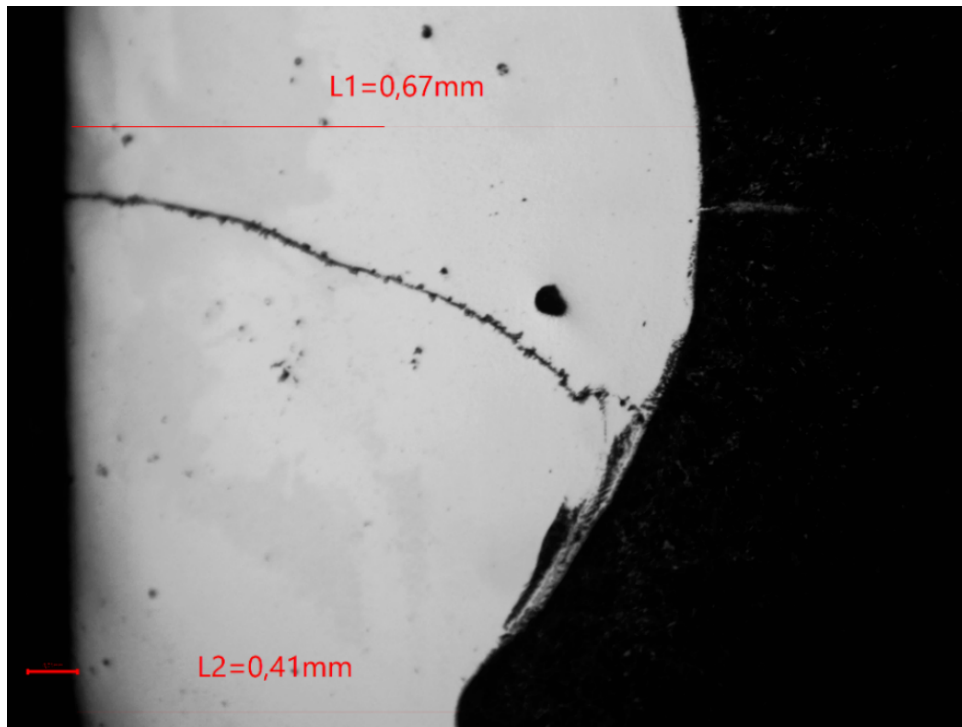


Рис. 6. Переплавленный слой (x100)

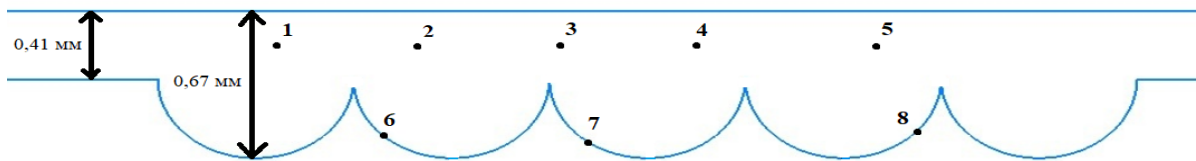


Рис. 7. Схема измерения микротвердости после проплавления слоя, нанесенного детонационным напылением

Таблица 2

Результаты измерения твердости поверхностного слоя, полученного детонационным напылением с последующим проплавлением

Номер измерения	Нанесенный слой					Зона перемешивания		
	1	2	3	4	5	6	7	8
Твердость, HV	857	876	903	822	723	527	541	551
Твердость, HRC	65,9	66,4	67	64,7	61,4	51,1	51,7	52,3

Для третьего метода упрочнения использовалось прямое лазерное сплавление порошкового материала. На подложку наплавлялся металличе-

ский порошок Fe-4,5Cr-4,5Mo-5,5W-4V, с помощью отработанного ранее [5] режима (табл. 3).

Таблица 3
Режим наплавки порошкового сплава Fe-4,5Cr-4,5Mo-5,5W-4V

Положение коллиматора	Мощность (Ватт)	RPM %	V (мм/с)	d пятна, мм	Смещение
0	1200	12	12	3	1,4

Результаты металлографических исследований полученного слоя показали, что в структуре отсутствуют трещины и микротрещины, а также пористость наплавленного слоя не превышает 3 % (рис. 8). Толщина наплавленного слоя находится в пределах 0,73...0,76 мм (рис. 8). При необходимости толщину наплавленного слоя можно увеличивать, так как технологических препятствий для этого нет. Микроструктура наплавленного слоя приведена на рис. 9.

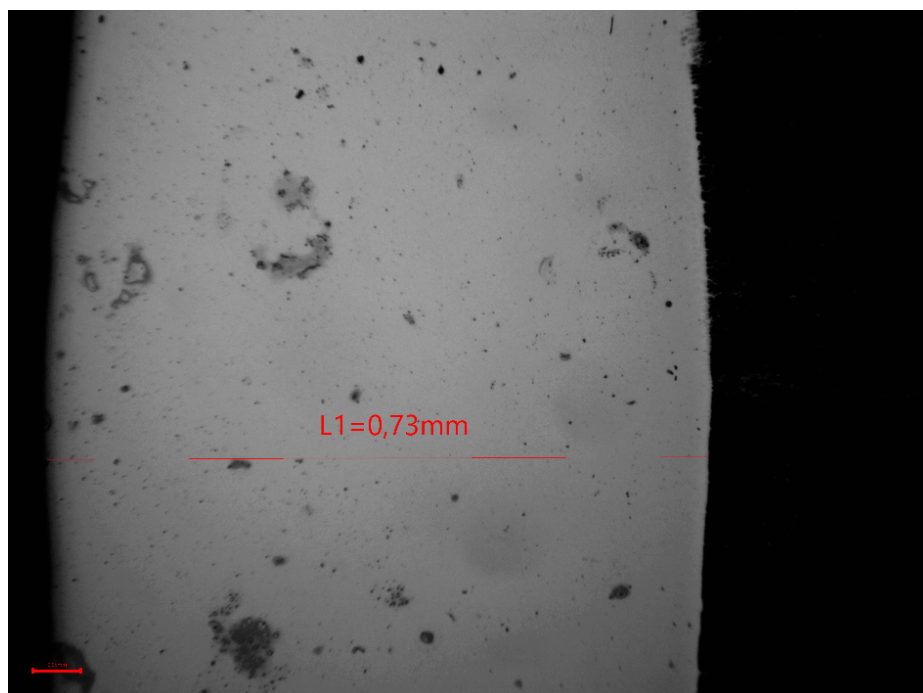


Рис. 8. Наплавленный слой до травления

Под наплавленным слоем образуется слой основного материала стали марки 40X, подвергнутый термическому воздействию в ходе наплавки. Микроструктура этого участка приведена на рис. 10. Толщина зоны термического влияния составляет около 0,6 мм. При этом под наплавленным слоем образуется мартенситная зона толщиной около 0,3 мм. Следовательно, упрочненный слой в общей сложности составляет около 1,5 мм. Результаты измерения твердости наплавленного слоя приведены в табл. 4.

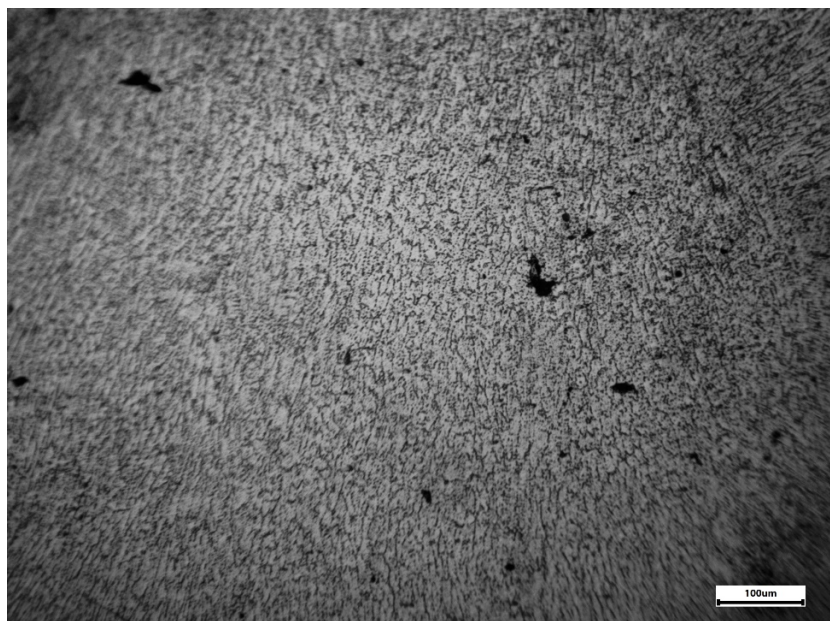


Рис. 9. Микроструктура наплавленного слоя (x100)

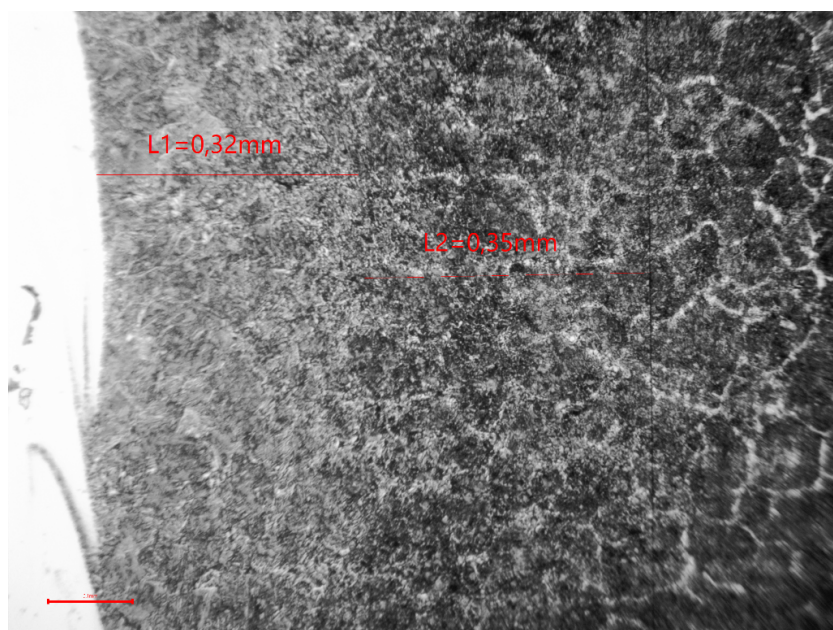


Рис. 10. Микроструктура зоны термического влияния (x100)

Таблица 4

Результаты измерения твердости
поверхностного слоя, полученного лазерной наплавкой

Номер измерения	1	2	3	4	5
Твердость, HV	570	555	555	551	551
Твердость, HRC	53,6	52,4	52,4	52,3	52,3

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что для повышения износостойкости рабочей поверхности тянущего барабана волоочильного стана целесообразно применять лазерную наплавку порошкового материала состава Fe-4,5Cr-4,5Mo-5,5W-4V, которая обеспечивает получение упрочненного слоя с твердостью 52-54 HRC на глубину не менее 1,5 мм. В структуре наплавленного слоя отсутствуют трещины и микротрещины, а пористость не превышает 3 %. Лазерный комплекс LaserClad 4 C R120 на базе промышленного робот-манипулятора KUKA KR-120 совместно с позиционером способен наплавить порошковый материал только на рабочую поверхность тянущего барабана, тем самым существенно снизив его себестоимость и трудоемкость при его изготовлении.

Применение детонационного напыления с последующим проплавлением для данного вида изделия оказалось не эффективным. Само детонационное покрытие порошковым материалом на основе карбида вольфрама получилось однородным и имело твердость в диапазоне 61–65 HRC, но после проплавления в нем появились достаточно крупные поры и трещины, что связано с существенной разницей в коэффициентах теплового линейного расширения стали 40X ($14 \cdot 10^{-6}$ 1/К) и сплава на основе карбида вольфрама ($3,9 \cdot 10^{-6}$ 1/К).

Библиографический список

1. Радионова, Л.В. Современное состояние и перспективы развития волоочильного производства стальной проволоки / Л.В. Радионова, А.А. Радионов // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2013. – № 1. – С. 3–11.
2. Фаизов, С.Р. Однократный волоочильный стан для научно-исследовательских и учебных целей / С.Р. Фаизов, А.В. Макаров, Л.В. Радионова // Научный потенциал молодежи и технический прогресс: материалы I международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 8–9.
3. Автоматизированный лабораторный волоочильный стан / Л.В. Радионова, С.Р. Фаизов, Р.А. Лисовский, Т.А. Лисовская // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2017. – Т. 5, № 2. – С. 68–73. DOI: 10.24892/RIJIE/20170211.
4. A study of the structural characteristics of titanium alloy products manufactured using additive technologies by combining the selective laser melting and direct metal deposition methods / M. Samodurova, L. Radionova, I. Logachev et al. // Materials. – 2019. – Т. 12, № 19. – С. 3269.
5. Быков, В.А. Восстановление изношенной поверхности шеек прокатных валков методом прямого лазерного сплавления / В.А. Быков, Л.В. Радионова, М.Н. Самодурова; под ред. А.Г. Корчунова // MAGNITOGORSK ROLLING PRACTICE 2019: материалы IV международной молодежной научно-практической конференции. – 2019. – С. 120–122.

[К содержанию](#)