

МАТЕРИАЛЫ И ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА

УДК 629.790

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2018.82.0.74

ВЫБОР МАТЕРИАЛА ДЛЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ
СКРЕБКОВОГО КОНВЕЙЕРА

Глушкова Д.Б., Костина Л.Л., Воронова Е.М., Демченко С.В., Чигрин А.А.,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

Аннотация. Изучены свойства сталей БРК, 18ХГТ, 20ХГНБ, используемых для изготовления боковых стенок конвейерных лотков, для желобов, после различных режимов обработки, чтобы выбрать наиболее подходящую. Условия работы обуславливают высокие требования к материалу лотка конвейерного транспортера в отношении прочности и долговечности, а срок службы лотка конвейера определяется устойчивостью боковины. Проанализирован уровень свойств, микроструктура боковых стенок после термической обработки, а также сварки. Поскольку между твердостью и износостойкостью существует прямая связь, методология исследования заключалась в измерении твердости, показателей прочности и изучении микроструктуры. Было обнаружено, что после термообработки и сварки боковых стенок из стали БРК не обеспечивается желаемый уровень прочности (прочность на разрыв не должна быть ниже 1275 МПа) и наблюдается неравномерность распределения твердости и прочности по поперечному сечению. Этого можно избежать, используя легированные стали. Было установлено, что профили из стали 20ХГНБ при закалке в масле обеспечивают более высокий уровень свойств, чем профили из стали 18ХГТ. Из двух исследованных сталей – 18ХГТ и 20ХГНБ – более высокий комплекс свойств обеспечивает сталь 20ХГНБ, при закалке которой в мягкой охлаждающей среде – масле – фиксируется высокий уровень свойств. При сварке боковин рештаков, выполненных из стали 20ХГНБ, с другими деталями рештаков разупрочнение подвергающихся износу участков не превышает 2...3 HRC. На основании вышеприведенных исследований следует отметить, что сталь 20ХГНБ может быть рекомендована для изготовления боковых стенок рештаков.

Ключевые слова: сталь, боковая стенка, твердость, прочность, износостойкость, сварка, упрочнение, поперечное сечение, микроструктура.

Введение

Преждевременное разрушение рештаков скребковых конвейеров приводит к снижению добычи угля и создает условия для появления аварийных ситуаций.

Исследования поверхности изношенных рештаков показали, что рештаки и, в особенности, боковины в процессе эксплуатации подвергаются абразивному износу. Твердость материала определяет величину взаимного внедрения микронеровностей трущихся поверхностей. Авторами работ [1, 2] установлена взаимосвязь между твердостью испытуемого материала и износостойкостью. Условия работы обуславливают высокие требования к материалу рештаков в отношении прочности и износостойкости.

В настоящее время рештаки изготавливаются из стали БРК, которая поставляется металлургическим заводом «Азовсталь». Статистика свидетельствует о том, что продолжительность эксплуатации рештаков СП-87П

и КМ-81-025М равна 6–9 месяцев, и за это время обеспечивается транспортировка всего 300–400 тыс. тонн угля при норме 650 тыс. тонн. При этом, в основном, срок службы рештака определяется стойкостью боковины.

Анализ публикаций

Скребковые конвейеры являются основным звеном механизированного комплекса при добыче угля [1, 2]. Установление характера изнашивания деталей скребковых конвейеров и выявление факторов, влияющих на износостойкость, является актуальной задачей, решение которой позволит существенно повысить срок службы шахтного оборудования. Для повышения износостойкости и работоспособности скребковых конвейеров, в первую очередь, необходимо повысить твердость элементов, которые срабатываются [3, 4].

При этом необходимо учитывать, что детали скребковых конвейеров изнашиваются

не только абразивной массой, но и деталями самого конвейера: профиль боковины рештака находится в контакте с тяговой цепью, а скребок – с днищем рештака.

Одним из факторов, уменьшающих интенсивность изнашивания, является повышение твердости поверхностных слоев звеньев цепей. Их твердость должна быть повышена до величин, превышающих твердость элементов, входящих в абразивную прослойку горной породы [5, 6]. Сведения о технологических способах упрочнения поверхностных слоев такого рода деталей приведены в работах [3–6].

Однако в настоящий момент остаются невыясненными вопросы влияния структурного состояния на износостойкость и, особенно, на скорость изнашивания. Проведение исследований в этом направлении даст возможность оптимально научно обоснованно подходить к выбору марок сталей для деталей, поддающихся интенсивному изна-

шиванию в процессе работы деталей скребкового конвейера и рекомендовать для них оптимальные режимы эксплуатации.

Цель и постановка задачи

Целью настоящего исследования был выбор материала для боковины рештаков путем сравнения свойств применяемой и предлагаемых марок стали. Для этого необходимо проанализировать уровень свойств, микроструктуру боковин после термической обработки, термической обработки и сварки (именно в такой последовательности осуществляются эти технологические операции при изготовлении рештаков).

Исследование структуры и твердости деталей конвейера

Материалом исследования были стали БРК и стали 18ХГТ и 20ХГНР, химический состав которых приведен в табл. 1.

Таблица 1 – Химический состав исследуемых сталей

Марка стали	Содержание элементов, %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Ti	B	S	P
Сталь БРК	0,29	0,97	0,20	–	–	–	–	0,027	0,027
Сталь 18ХГТ	0,18	0,97	0,30	1,25	0,17	0,050	–	0,019	0,022
Сталь 20ХГНР	0,20	0,79	0,30	1,05	1,02	–	0,005	0,018	0,021

Методика исследования заключалась в измерении твердости, показателей прочности, изучении микроструктуры. Поскольку между твердостью и износостойкостью имеется прямая зависимость, то по показателям твердости можно оценить эксплуатационные свойства боковины рештаков.

Результаты исследования стали БРК показали, что в горячекатанном состоянии (до термической обработки) разброс значений твердости по периметру и сечению профиля составляет приблизительно 15 НВ, а временного сопротивления разрыву и предела текучести – соответственно 27 и 36 МПа. Микроструктура стали – феррито-перлитная.

После термической обработки, включающей закалку от 850–870 °С в воду и отпуск при 200 °С, боковин рештаков, выполненных из стали БРК, наблюдается значительный разброс твердости по поперечному сечению профиля, вырезанного из рештака текущего производства (рис. 1). Так, на краях малой и большой полок, толщина которых 9 и 12

мм, твердость составляет соответственно 444–777 и 320–340 НВ. В местах перехода большой и малой полок в стенку профиля, где толщина возрастает примерно в 2 раза, твердость снижается соответственно до 217...223 НВ (рис. 1, а).

Еще большее снижение твердости наблюдается при удалении от края профиля (по длине). Так, на расстоянии 300 мм от края (на таком расстоянии должна быть обеспечена заданная твердость) последняя незначительно отличается от твердости горячекатаных профилей и составляет всего 166–217 НВ (рис. 1, б). Полученные после соответствующей термической обработки в лабораторных условиях результаты механических свойств свидетельствуют о том, что на стали БРК после закалки и отпуска при температурах 200 и 400 °С не обеспечиваются как требуемые абсолютные значения, так и равномерное распределение прочностных свойств твердости и однородности микроструктуры по сечению профиля.

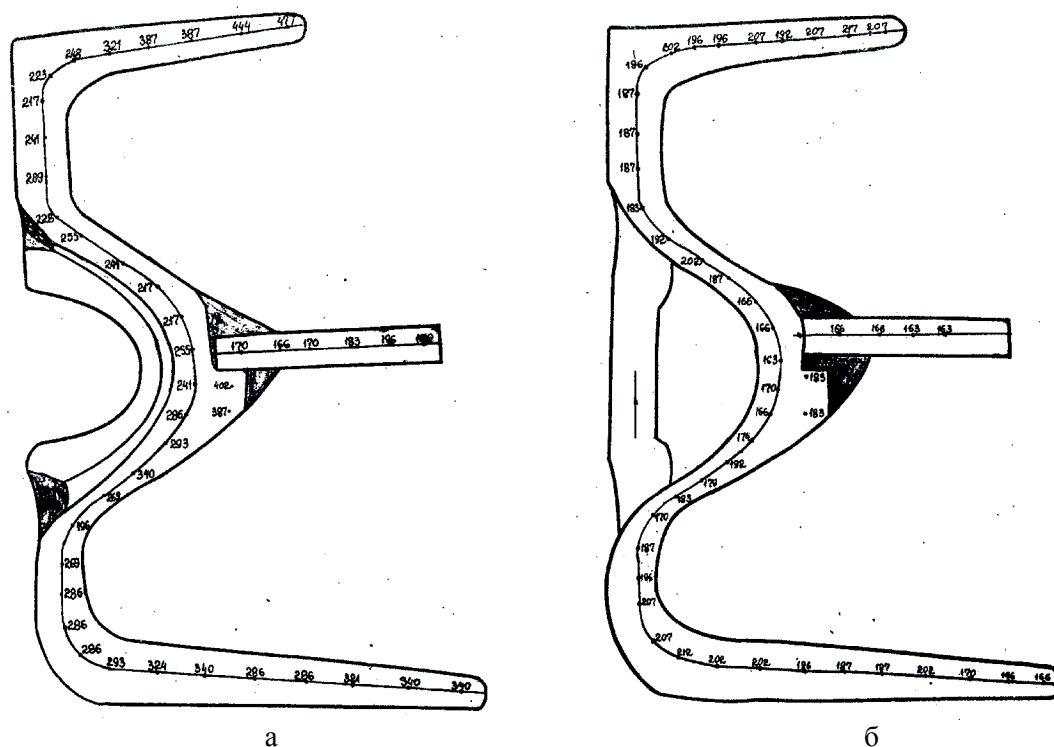


Рис. 1. Твердость (НВ) по сечению темплетов боковины решетки из стали БРК, вырезанных из решетки текущего производства: а – край профиля; б – на расстоянии 300 мм от края

Если после закалки и низкого отпуска временное сопротивление разрыву составляет 765–1040 МПа (разброс значений прочности составляет 275 МПа), то после отпуска при температуре 400 °С уровень временного сопротивления снижается, в основном, за счет уменьшения верхнего предела до 706–905 МПа (разброс значений прочности равен 199 МПа). Аналогично изменяется и предел текучести. Уровень значений временного сопротивления ниже требуемого. Необходимо, чтобы $\sigma_b \geq 1275$ МПа.

К средней части профиля (со стороны нерабочей поверхности) приваривается массивная планка. Исследование показало, что температура разогрева участка боковины решетки, наиболее близко расположенного к месту сварки, составляет порядка 300 °С. На этом же участке металл в середине (по толщине) профиля нагревается до примерно 330 °С, а на поверхности, несколько удаленной от зоны сварки, – до 250 °С. Минимальная температура нагрева на полке и составляет 120 °С.

Сравнение механических свойств и микроструктуры профилей после обработки, включающей закалку и отпуск 400 °С, и термической обработки и сварки показало, что разогрев металла в процессе сварки не ока-

зывает существенного влияния на уровень твердости, прочностные свойства стали и ее микроструктуру.

Однако после сварки также, как и после термической обработки, по сечению и по длине наблюдается большой разброс значений свойств. И как следствие этого, профиль боковины решетки обладает низкой износостойкостью в условиях эксплуатации. Причиной такого явления есть низкая прокаливаемость стали. Поэтому необходимым явился переход к сталям, обеспечивающим более высокую прокаливаемость, что достигается введением легирующих элементов, которые сдвигают диаграмму изотермического распада аустенита вправо и уменьшают критическую скорость закалки.

Так, были проведены исследования на боковинах решеток, изготовленных из стали 18ХГТ и 20ХГНР. В горячекатанном состоянии структура стали 18ХГТ – феррито-перлитная, а стали 20ХГНР – бейнит и отдельные участки феррита в виде разорванной сетки по границам зерен.

Температурный режим прокатки, начало 1150–1160 °С, конец прокатки 970–990 °С, скорость прокатки – 2,3 м/с.

Твердость в горячекатанном состоянии профиля из стали 20ХГНР равна 241–262 НВ, а из стали 18ХГТ ниже на 10–20 НВ. Учиты-

вая сложность геометрической формы профиля и возможность его коробления при термической обработке, был исследован уровень свойств, достигаемый при закалке в более «мягкой» среде, а именно – в масле. Одновременно исследования были проведены и при охлаждении в воде после закалки.

Термическая обработка существенно изменила уровень свойств и микроструктуру исследуемых сталей. В стали 20ХГНР, легированной бором, после закалки в масле временное сопротивление разрыву находится на уровне 1430–1440 МПа, а твердость – на уровне 35–39 HRC. Сталь 18ХГТ значительно уступает по прочности свойствам стали 20ХГНР после закалки в масле. Временное сопротивление разрыву составляет 1030–1020 МПа, предел текучести равен 300–350 МПа, а твердость на 7–8 HRC меньше, чем у стали 20ХГНР. На рис. 2 представлены гистограммы средних значений временного сопротивления разрыву сталей БРК, 20ХГНР и 18ХГТ после закалки в воде и отпуска при 200 °С.

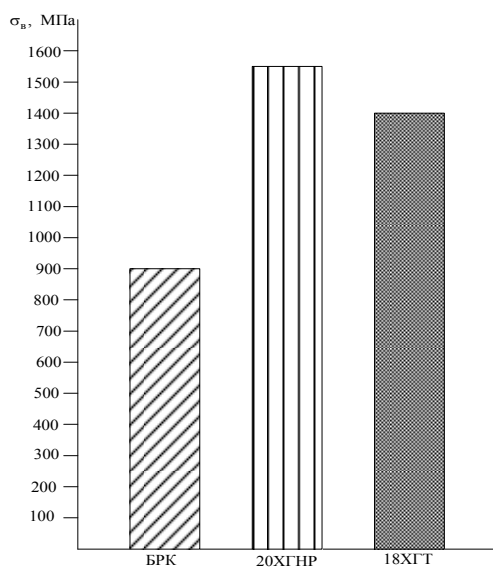


Рис. 2. Гистограммы средних значений временного сопротивления разрыву сталей БРК, 20ХГНР, 18ХГТ после закалки в воде и отпуска при 200 °С

После закалки в воде и отпуска при 200 °С временное сопротивление разрыву стали 20ХГНР равняется 1480–1550 МПа, твердость 42–45 HRC, а стали 18ХГТ – соответственно 1385–1470 МПа и 36–43 HRC.

Повышение температуры отпуска до 400 °С приводит к незначительному разупрочнению этих сталей. Указанное раз-

упрочнение не превышает 5–10 % по отношению к закаленному состоянию.

Исследования твердости после закалки, отпуска при 300 °С и сварки опорной планки и боковины, а также днища и боковины, свидетельствуют о незначительном снижении твердости по сравнению с закаленным состоянием.

На рис. 3 приведена твердость по сечению боковины решетки из стали 20ХГНР после термообработки и сварки.

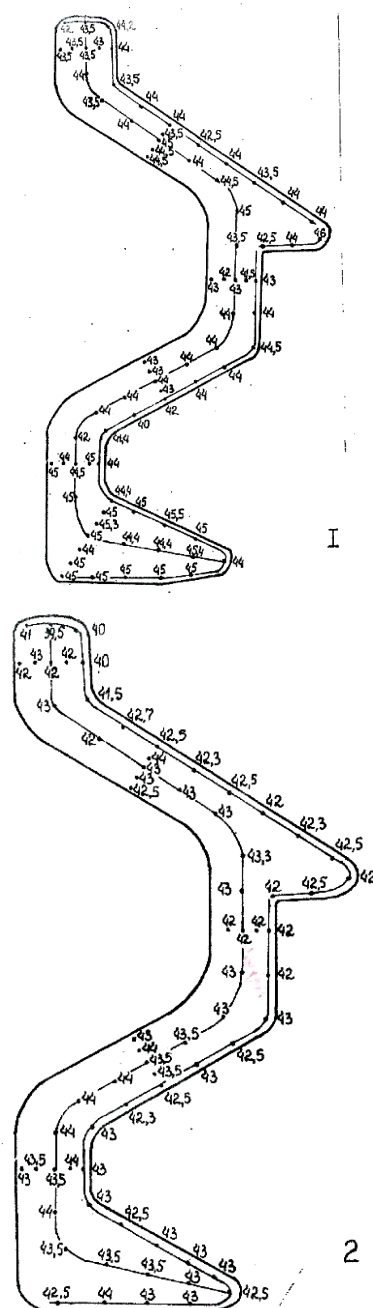


Рис. 3. Твердость (HRC) по сечению боковины решетки из стали 20ХГНР после термообработки и сварки: 1 – закалка от 880 °С; 2 – закалка от 880 °С + отпуск при 300 °С (начало)

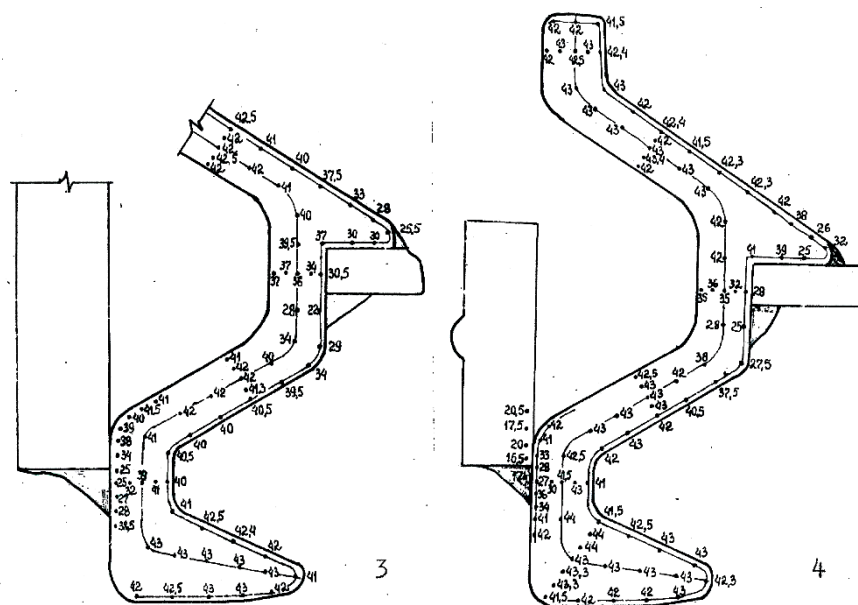


Рис. 3. Твердость (HRC) по сечению боковины решетки из стали 20ХГНР после термообработки и сварки: 3 – закалка от 880 °С + сварка; 4 – закалка от 880 °С + отпуск при 300 °С + сварка (окончание)

Полученные результаты свидетельствуют о том, что при достижении после закалки достаточного уровня твердости по сечению профиля последующая сварка закаленного профиля приводит к разупрочнению изнашиваемых при эксплуатации участков не более, чем на 2–3 %.

Выводы

После термической обработки и сварки боковин решеток, выполненных из стали БРК, не обеспечивается требуемый уровень прочности ($\sigma_b \geq 1275$ МПа) и наблюдается неравномерность в распределении твердости, прочностных свойств по сечению.

Исходя из теоретических позиций, объяснен большой разброс свойств по сечению и длине боковины решетки, выполненных из стали БРК.

Научно обосновано применение для боковин решеток легированных сталей.

Сложность геометрической формы профиля и возможность его коробления при термической обработке обуславливает использование при закалке более мягкой охлаждающей среды, какой является масло.

Профили, выполненные из стали 20ХГНР, при закалке в масле обеспечивают более высокий уровень свойств, чем профили, выполненные из стали 18ХГТ.

При сварке, которая является одной из технологических операций изготовления бо-

ковин решеток, выполненных из стали 20ХГНР, с другими деталями решеток разупрочнение подвергающихся износу участков не превышает 2–3 HRC.

На основе приведенных исследований следует рекомендовать сталь 20ХГНР для изготовления боковин решеток.

Литература

1. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах / Б.И.Костецкий. – Киев: Техника, 1970. – 396 с.
2. Абачараев Н.И. Повышение кавитационной стойкости сплошных сред / Н.И. Абачараев. – К.: Наукова Думка, 1990. – 91 с.
3. Тушинский Л.И. Теория и технология упрочнения металлических сплавов / Л.И. Тушинский. – Новосибирск: Наука, 1990. – 306 с.
4. Шпеньков Г.П. Физика и химия трения / Г.П. Шпеньков. – Минск: БГУ, 1978. – 204 с.
5. Проников А.С. Надежность машин / А.С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.
6. Тененбаум М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании / М.М. Тененбаум. – М.: Машиностроение, 2006. – 331 с.
7. Семенов А.П. Схватывание металлов и методы его предотвращения при трении / А.П. Семенов // Трение и износ. – 1982. – Т. 3. – С. 401–411.
8. Дякин С.И. Некоторые концепции применения материалов в тяжелонагруженных трибосопряжениях / С.И. Дякин, Т.П. Филатова //

- Долговечность трущихся деталей машин: сб. статей, под ред. Д.Н.Гаркунова. – М.: Машиностроение. – 1987. – Вып. 2. – С. 19–31.
9. Виноградов Г.В. Механизм сухого и граничного трения / Г.В. Виноградов. – М.: Машиностроение, 2004. – 357 с.
 10. Файнлейб А.М. Влияние твердости деталей на абразивную износостойкость сопряжения / А.М. Файнлейб // Металловедение и термическая обработка металлов. – 1997. – №4. – С. 64–65.
 11. Роик Т.А. Влияние химического состава на твердость и износостойкость деталей / Т.А. Роик, Д.Б. Глушкова, В.П. Тарабанова // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – №63. – С. 92–98.

References

1. Kostetsky B.I. Friction, lubrication and wear in machines / B.I.Kostetsky. - Kiev: Technique, 1970. -396 p.
2. Abacharaev N.I. Increase of cavitation stability of continuous media / N.I. Abacharayev. - Kiev: Naukova Dumka, 1990. - 91 p.
3. Tushinsky L.I. Theory and technology of hardening of metal alloys / LI Tushinsky. - Novosibirsk: Science, 1990. - 306 p.
4. Shpenkov GP, Physics and Chemistry of Friction / G.P. Shpenkov. - Minsk: BSU, 1978. – 204 p.
5. Pronikov A.S. Reliability of MA-tires / A.S. Penetrated. - M.: Mashinostroenie, 1978. – 592 p.
6. Tenenbaum M.M. Wear resistance of structural materials and machine parts with abrasive wear / M.M. Tenenbaum. - M.: Mashinostroenie, 2006. - 331 p.
7. Semenov A.P. Seizure of metals and methods for its prevention in friction / A.P. Semenov // Friction and wear. - 1982. - T. 3. –C. 401-411.
8. Dyakin S.I. Some concepts of the use of materials in heavy-loaded tribo-conjugation / S.I. Dyakin, T.P. Filatov // Durability of working machine parts: Sat. articles, ed. D.N.Garkunova // M. Mashinostroenie. - 1987. - Vol. 2. - p. 19-31.
9. Vinogradov G.V. The mechanism of dry and boundary friction / G.V. Vinogradov. - M.: Mashinostroenie, 2004. - 357 p.
10. Faynleyb A.M. The effect of hardness of parts on the abrasive wear resistance of the coupling / A.M. FineLeb // Metal Science and Heat Treatment of Metals. - 1997. - №4. - p. 64–65.
11. Roik, T.A., Glushkova, D. B., Tarabanova, V.P. The influence of chemical composition on the hardness and wear resistance of parts-lei // Bulletin of NTU "KPI". - Kharkov: NTU "KPI", 2012. - №63. - pp. 92–98.

Глушкова Диана Борисовна – д.т.н., заведующая кафедрой технологии металлов и материаловедения, тел.: 097-481-15-93, diana@khadi.kharkov.ua

Костина Людмила Леонидовна – к.т.н., доцент кафедры технологии металлов и материаловедения, тел.: 066-150-89-72, kostina4991@gmail.com

Воронова Елизавета Михайловна – доцент кафедры иностранных языков, тел.: 067-724-44-87, voronova1945@gmail.com

Демченко Сергей Владимирович – аспирант кафедры технологии металлов и материаловедения, тел.: 097-481-15-93, diana@khadi.kharkov.ua

Чигрин Анатолий Александрович – ассистент кафедры технологии металлов и материаловедения, тел.: 067-991-08-13, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, гор. Харьков, (+057)707-37-29

SELECTION OF MATERIAL FOR RESPONSIBLE DETAILS SCRAPER CONVEYOR

Hlushkova D.B., Kostina L.L., Voronova E.M., Demchenko S.V., Chigrin A.A., Kharkiv National Automobile and Highway University

Abstract. Problem. We have studied the properties of steels BRK, 18ChGT, 20ChGNB used for the manufacture of sidewalls of chute conveyor pans after various treatment regimes in order to select the most appropriate one. The working conditions stipulate high demands to chute conveyor pan material with respect to strength and durability, and the term of chute conveyor pan service is determined by the sidewall stability. The level of properties, microstructure of sidewalls after heat treatment and welding are analyzed. As between the hardness and wear resistance there is a direct relationship, the research methodology consisted in measuring the hardness, strength indicators, and study of the microstructure. It was revealed that after the heat treatment and welding of pan sidewalls made of steel BRK there is not provided the desired level of strength (the tensile strength must not be lower than 1275 MPa), and there is observed unevenness in the distribution of hardness and strength properties over the cross section. This can be avoided using alloy steels. It was established that of the two studied steels 18HGT and 20HGNR, a higher complex of properties is provided by steel 20HGNR, during quenching of which in a soft cooling medium – oil – a high level of properties is fixed. When welding the sidewalls of pans made of steel 20ChGNB with other parts of pans, subject to wear the softening of the areas subject to wear do not exceed 2–3 HRC. Based on the above studies it should be noted that steel 20ChGNB can be recommended for the manufacture of sidewalls of pans.

Key words: steel, pan sidewall, hardness, strength, wear resistance, welding, hardening, cross section, microstructure.

ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ВІДПОВІДАЛЬНИХ ДЕТАЛЕЙ СКРЕБКОВОГО КОНВЕЄРА

Глушкова Д.Б., Костіна Л.Л.,
Воронова Є.М., Демченко С.В.,
Чигрин А.О.,

Харківський національний автомобільно-
дорожній університет

Анотація. Досліджено властивості сталей БРК, 18ХГТ, 20ХГНБ, що використовують для виготовлення бокових стінок конвеєрних лотків, для жолобів, після різних режимів термічної обробки задля вибору кращої. Умови роботи зумовлюють високі вимоги до матеріалу лотка конвеєрного транспортера з міцності та довговічності, а строк служби лотка конвеєра визначається стійкістю боковини. Проаналізовано рівень властивостей, мікроструктуру бокових стінок після термічної обробки, а також зварювання. Оскільки між твердістю та зносостійкістю існує прямий зв'язок, методологія дослідження полягала у вимірюванні твердості, показників міцності та вивченні мікроструктури.

Було виявлено, що після термічної обробки та зварювання бічних стінок зі сталі БРК не забезпечується потрібний рівень міцності (міцність на розрив не повинна бути нижчою за 1275 МПа), й існує нерівномірність розподілу твердості та міцності в поперечному перерізі. Цього можна уникнути при використанні легованих сталей. Встановлено, що профілі зі сталі 20ХГНБ при гартуванні в маслі забезпечують більш високий рівень властивостей, ніж профілі зі сталі 18ХГТ. З двох досліджених сталей – 18 ХГТ і 20 ХГНБ більш високий комплекс властивостей забезпечує сталь 20ХГНБ, при гартуванні якої в м'якому охолоджувальному середовищі – маслі – фіксується високий рівень властивостей. При зварюванні боковин рештаків, які виконані зі сталі 20ХГНБ, з іншими деталями рештаків розміщення ділянок, що зношуються, не перевищує 2–3 HRC. На основі вищенаведених досліджень можна відмітити, що сталь 20ХГНБ може бути рекомендована для виготовлення бокових стінок рештаків.

Ключові слова: сталь, бокова стінка, твердість, міцність, зносостійкість, зварювання, зміцнення, поперечний переріз, мікроструктура.