

УДК 621.791.927

© Лещинский Л.К.¹, Матвиенко В.Н.², Мазур В.А.³**ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА,
СОПРОТИВЛЕНИЕ РАЗРУШЕНИЮ И КОРРОЗИИ ХРОМИСТОГО
НАПЛАВЛЕННОГО МЕТАЛЛА**

Показано, что при выборе состава металла для наплавки прокатных валков и роликов машин непрерывного литья заготовок наряду с оценкой влияния углерода на механические и функциональные свойства, следует учитывать критические значения концентрации хрома, определяющие коррозионную стойкость металла с позиций электрохимической теории коррозии. Выявлено, что как для наплавленного металла типа X5, так и X12, предельное содержание углерода, обеспечивающее оптимальное сочетание прочности, пластичности, сопротивления разрушению, ограничено одинаковыми значениями.

Ключевые слова: наплавленный металл, ролики машин непрерывного литья заготовок, прокатные валки, состав, углерод, хром, критическая концентрация хрома, прочность, твёрдость, удельная работа разрушения.

Лещинський Л.К., Матвієнко В.М., Мазур В.О. Вплив вуглецю на механічні властивості, опору руйнування і корозії хромистого наплавного металу. Показано, що при виборі складу метала для наплавлення прокатних валків і роликів машин безперервного лиття заготовок разом з оцінкою впливу вуглецю на механічні і функціональні властивості, слід враховувати критичні значення концентрації хрому, що визначають корозійну стійкість металу з точки зору електрохімічної теорії корозії. З'ясувалося, що як для наплавленого металу типу X5, так і X12, лімітний вміст вуглецю, що забезпечує оптимальне поєднання міцності, пластичності, стійкості руйнуванню, обмежується ідентичними значеннями.

Ключові слова: наплавлений метал, ролики машин безперервного лиття заготовок, прокатні валки, склад, вуглець, хром, критична концентрація хрому, твердість, удільна робота руйнування.

L.K. Leshchinskiy, V.M. Matvienko, V.O. Mazur. The effect of carbon content on mechanical properties, failure and corrosion resistance of deposited chromium metal. It has been shown that if choosing a metal composition for surfacing rolls and rollers of continuous casting machines, both the carbon impact on the mechanical and functional properties and the critical values of the chromium concentration, which determine the corrosion resistance of the metal with regard to electrochemical corrosion theory, should be considered as well. The paper studied the effect of chromium and carbon steel the X5-X12 type on the structure, technological strength, mechanical properties, fracturing resistance and corrosion resistance of the weld metal. The composition of chromium tool steels (deposited metal) (X5-used for the rolls of hot rolling mills) and (X12-used for continuous casting machines rollers) correspond to these values. The impact of carbon on the properties of the deposited metal containing chromium was considered by comparing the data for both types of the deposited metal. It was found that for both types of the deposited metal (X5 and X12), the limiting value of the carbon content, providing an optimal combination of strength, ductility, failure resistance is the same. If the carbon content is more than the limiting value – (0,25%) the technological strength and failure resistance of the deposited metal significantly reduce. With increasing carbon content from

¹ д-р техн. наук, профессор, г. Бостон, США

² д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, matvivenkovn@gmail.com

³ канд. техн. наук, доцент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь, v.a.mazurini@gmail.com

0,18 to 0,25% the martensite structure has a mixed morphology – lath and plate. The strength and toughness of the deposited metal grow. Of particular interest is simultaneous increase in the specific work of failure resulted from crack inhibition at the boundary with far less solid and more ductile ferrite. As for the 5% chromium metal, the X12 type composition with 0,25% C, is borderline. With a further increase in the carbon content of the metal both ductility and failure resistance sharply decrease and with 0,40% C the growth rate of fatigue crack increases by almost 1,5 times.

Keywords: *deposited metal, continuous casting machine rollers, rolling mill rolls, chromium and carbon content, chromium critical concentration, hardness, strength, specific work of failure.*

Постановка проблеми. Решение задачи выбора состава металла типа X5 и X12 для наплавки прокатных валков и роликов машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) требует оценки влияния углерода и хрома на прочность, твёрдость, сопротивление разрушению и коррозии.

Анализ последних исследований и публикаций. В электрохимической теории коррозии железоуглеродистых сплавов, содержащих хром в одной из структурных составляющих (координационной сфере, элементарной ячейке, ромбоэдрической квазипоре, тетраэдрической поре), обосновывается четыре критических концентрации хрома (~6,5%, ~12%, ~17%, ~27%) [1].

С учётом статистически незначимой разности атомных радиусов железа и хрома, в таких сплавах при температуре, близкой к температуре солидуса, образуется ряд непрерывных твёрдых растворов с плотно упакованной объёмно-центрированной кристаллической решёткой. При достижении хромом первой критической концентрации (~6,5 мас.%) улучшается связь атомов железа с равномерно распределёнными атомами хрома и изменяются свойства сплава. Когда концентрация хрома повышается до 12...13 мас.%, на каждую элементарную ячейку объёмно-центрированной кристаллической решётки приходится атом хрома, что соответствует второй критической концентрации. Изменяется электронная структура сплава и достигается тамманов предел, при котором сплав становится нержавеющей. Развитие этих представлений в электрохимической теории коррозии имеет целью совершенствование материалов с повышенной коррозионной стойкостью. Однако стали типа X5 и X12, в которых содержание хрома соответствует первой и второй критической концентрации в теории с позиций коррозионной стойкости, являются также инструментальными, а соответствующие их составу наплавочные материалы применяются для изготовления и восстановления инструмента. Учитывая влияние содержания углерода на критическую концентрацию хрома в железоуглеродистых сплавах, значительный интерес представляет сравнительное исследование этого влияния на структуру, сварочно-технологические свойства, твёрдость, прочность и трещиностойкость наплавленного металла. При этом анализ полученных ранее результатов таких исследований [2-6] для сталей типа X5 и X12 может рассматриваться в качестве задачи настоящей статьи.

Цель статьи – изучение влияния содержания хрома и углерода в сталях типа X5 – X12 на структуру, технологическую прочность, механические свойства, трещиностойкость и коррозионную стойкость наплавленного металла.

Изложение основного материала. При проведении анализа рассматриваемых материалов целесообразно ограничить область их применения активным слоем рабочих валков горячей прокатки и роликов непрерывного литья заготовок. Из-за различий в условиях эксплуатации прокатных валков и роликов МНЛЗ для последних намного более высокими являются требования к коррозионной стойкости [7-9]. Поэтому применение стали с 5% хрома целесообразно для наплавки валков горячей прокатки, однако для восстановления роликов МНЛЗ [10] возможно лишь при низкой агрессивности коррозионной среды. Это согласуется с многолетним опытом разработки и освоения в качестве основного материала для наплавки активного слоя роликов МНЛЗ сталей типа X12 [11, 12].

Влияние углерода на свойства содержащего хром наплавленного металла рассматривалось, сопоставляя данные для обоих типов наплавленного металла (рисунок). Наибольший интерес здесь представляют составы, содержащие 0,18...0,25% углерода. Нижний предел содержания углерода (0,18% C) характеризуется структурой низкоотпущенного мартенсита с крупными первичными карбидами Me_3C и $Me_{23}C_6$, а также вторичными карбидами $Me_{23}C_6$, которые

образуются в процессе дисперсионного твердения. Такая структура обеспечивает необходимые значения технологической и эксплуатационной прочности, теплостойкости, сопротивления растрескиванию, износостойкости. Верхнему пределу содержания углерода (0,25% C) соответствует структура пакетного мартенсита с относительно дисперсными мартенситными рейками.

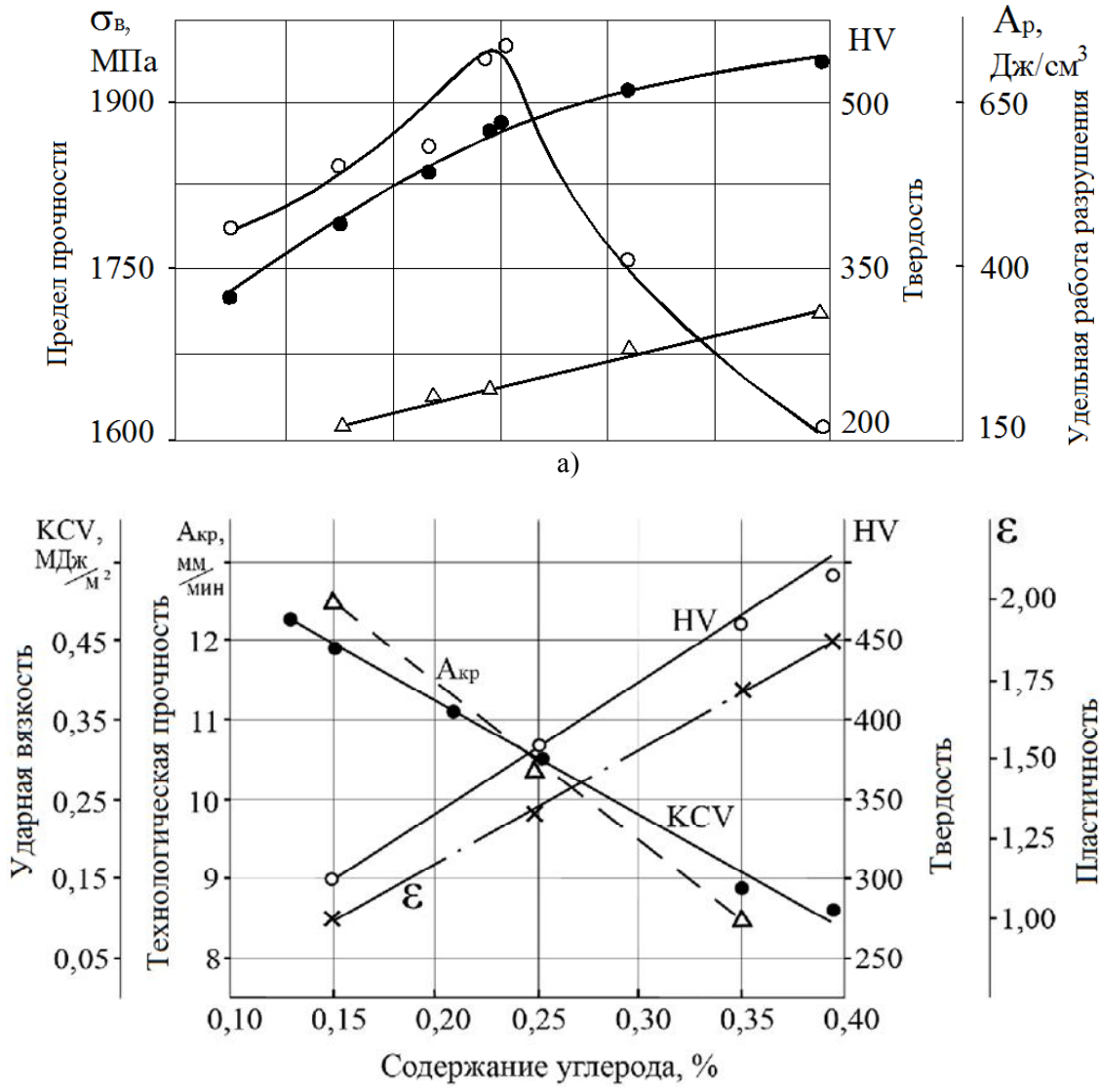


Рисунок – Влияние содержания углерода на свойства наплавленного металла типа X5 (а) и X12 (б)

Несмотря на различия в составе и структуре рассматриваемых сталей, отмеченная на рисунке область составов, соответствующих указанному содержанию углерода, отличается рядом особенностей. Для сталей типа X5 в этой области сочетаются необходимые характеристики прочности, пластичности и ударной вязкости. Точка пересечения зависимости твёрдости и ударной вязкости от содержания углерода приходится на 0,25% C, которое можно рассматривать, как пограничное. При твёрдости 380...390 HV величина ударной вязкости составляет 0,30...0,33 МДж/м², а показатель технологической прочности – 10,5...10,7 мм/мин. Этим сочетанием свойств определяется, в первом приближении, выбор и промышленное применение для наплавки рабочих валков станов горячей прокатки составов 18X6ГМФС, 20X4МФБ, 25X5ФМС. Кроме того, на основе этих составов разработаны материалы для наплавки опорных валков черновых клетей станов горячей прокатки [2, 6]. При меньшем (0,10...0,15%) содержании углерода составы типа X5 отличаются повышенной пластичностью, однако низкой твёрдостью и износостойкостью, поэтому практически не применяются для наплавки рабочих валков

горячей прокатки. С превышением содержания углерода верхней границы (0,25%) существенно снижается технологическая прочность и сопротивление наплавленного металла разрушению. Следует, однако, отметить выходящий за пределы рассматриваемой области по содержанию углерода состав 35X7M2ФАТ с дисперсной мартенситной структурой, избыточными карбидами хрома и молибдена, умеренным количеством остаточного аустенита. Такая структура обеспечивает высокую технологическую и эксплуатационную прочность, сопротивление ударному разрушению и термоциклическим нагрузкам. Содержание хрома в этом составе, согласно электрохимической теории коррозии, превышает первую критическую концентрацию. Благодаря этому значительно возрастает коррозионная стойкость поверхности рабочих валков в процессе эксплуатации обжимных и сортовых прокатных станов.

В то же время, условия эксплуатации роликов МНЛЗ позволяют использовать для наплавки металл меньшей твёрдости (300...320 НВ), что обеспечивает состав, содержащий 0,10...0,12% углерода и 11,0...13,0% хрома (что соответствует второй критической концентрации) и мартенситно-ферритной структурой. С увеличением доли углерода от 0,18 до 0,25% мартенсит в структуре имеет смешанную морфологию – реечный и пластинчатый. Однако особенностью рассматриваемой области составов является одновременное возрастание удельной работы разрушения до 690 Дж/м³, чему способствует торможение трещины на границе раздела мартенсита с намного менее твёрдым и более пластичным ферритом. Как и для металла с 5% хрома, состав типа X12, содержащий 0,25% С, является пограничным. С дальнейшим увеличением содержания углерода снижается пластичность металла и резко уменьшается сопротивление разрушению и при достижении 0,40% С скорость роста усталостной трещины возрастает почти в 1,5 раза.

Выводы

1. При выборе состава металла для наплавки валков станов горячей прокатки и роликов МНЛЗ необходимо оценивать не только его инструментальные свойства, но также коррозионную стойкость, в соответствии с используемой в электрохимической теории коррозии железоуглеродистых сплавов первой (6,5%) и второй (12%) критической концентрацией хрома. Этим значениям концентрации хрома соответствуют составы инструментальных сталей (наплавленного металла) типа X5 (для валков станов горячей прокатки) и X12 (для роликов МНЛЗ).
2. Несмотря на отличия в структуре и свойствах наплавленного металла с 5 и 12% хрома, практически одинаков диапазон значений содержания углерода, обеспечивающий оптимальное сочетание прочности, твёрдости, сопротивления разрушению. В большей мере это относится к верхнему пределу этого диапазона (0,25% углерода), превышение которого приводит к резкому падению технологической прочности и сопротивления разрушению.

Список использованных источников:

1. Развитие представлений о роли хрома в процессах пассивации и питтинговой коррозии сплавов Fe-Cr / И.И. Реформаторская, А.Н. Подобаев, Е.В. Трофимова, И.И. Ащеулова // Защита металлов. – 2004. – Т. 40. – № 3. – С. 229-235.
2. Лещинский Л.К. Слоистые наплавленные и упрочнённые композиции / Л.К. Лещинский, С.С. Сомотугин. – Мариуполь : Новый мир, 2005. – 392 с.
3. Stepnov K.K. Modification of medium-chromium deposited metal / K.K. Stepnov, V.N. Matvienko, A.I. Oldakovsky // The Paton Welding Journal. – 2011. – № 8. – P. 10-12.
4. Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls / E.N. Shebanits [at al.] // Metallurgist. – Vol. 56. – Issue 7 (2012). – P. 613-617.
5. Кондратьев И.А. Структура и свойства наплавленного металла типа штамповой стали / И.А. Кондратьев, В.Г. Васильев, Т.А. Дорошенко // Автоматическая сварка. – 1998. – № 3. – С. 39-41.
6. Инструментальные материалы. Свойства и упрочнение / С.С. Сомотугин, Л.К. Лещинский, В.А. Мазур, Ю.С. Сомотугина. – Мариуполь : ГВУЗ «ПГТУ», 2013. – 430 с.
7. Лещинский Л.К. Повышение ресурса работы наплавленных роликовых направляющих машин непрерывного литья заготовок / Л.К. Лещинский // Сварочное производство. – 1991. – № 1. – С. 9-11.

8. Домбровский Ф.С. Работоспособность наплавленных роликов машин непрерывного литья заготовок / Ф.С. Домбровский, Л.К. Лещинский. – Киев : Институт электросварки им. Е.О. Патона, 1995. – 198 с.
9. Ясний П.В. Ролики МБЛЗ: деградація і тріщиностійкість матеріалів / П.В. Ясний, П.О. Марущак. – Тернопіль : Джура, 2009. – 232 с.
10. Вдовин К.Н. Способы повышения стойкости роликов МНЛЗ / К.Н. Вдовин, А.А. Подосян, А.С. Бердников // Сталь. – 2010. – № 5. – С. 112-114.
11. Welding consumables, automated welding equipment, wearplates, surface protection services [Электронный ресурс]. – (www.welding-alloys.com).
12. Орлов Л.Н. Восстановительная наплавка деталей металлургического оборудования порошковыми проволоками в ООО «ТМ. ВЕЛТЕК» / Л.Н. Орлов, А.Н. Голякевич // Сварка и родственные технологии – настоящее и будущее : Международная конференция. Киев, 25-26 ноября 2013 г. – Киев : Институт электросварки им. Е.О. Патона, 2013. – С. 177-179.

References:

1. Reformatorskaya I.I., Podobaeв A.N., Trofimova E.V., Ashcheulova I.I. Razvitie predstavlenii o roli khroma v protsessakh passivatsii i pittingovoi korrozii splavov Fe-Cr [Development roles of chromium passivation processes and pitting corrosion resistance of alloys Fe-Cr]. *Zashchita metallor – Protection of metals*, 2004, vol. 40, pp. 229-235. (Rus.)
2. Leshchinskiy L.K., Samotugin S.S. *Sloistye naplavlennyye i uprochnennyye kompozitsii* [Multilayer compositions: surfacing and hardening]. Mariupol, Noviy mir Publ., 2005. 392 p. (Rus.)
3. Stepnov K.K., Matvienko V.N., Oldakovskiy A.I. Modification of medium-chromium deposited metal. *The Paton Welding Journal*, 2011, no. 8, pp. 10-12.
4. Shebanits E.N., Omelyanenko N.I., Kurakin Y.N., Matvienko V.N. Improving the fracture toughness and wear resistance of hard-faced hot-rolling-mill rolls. *Metallurgist*, 2012, vol. 56, iss. 7, pp. 613-617.
5. Kondratiev I.A., Vasilev V.G., Doroshenko T.A. Struktura i svoystva naplavlennogo metalla tipa shtampovoi stali [The structure and properties of deposited metal forging type steel]. *Avtomaticheskaya svarka – Automatic welding*, 1998, no. 3, pp. 39-41. (Rus.)
6. Samotugin S.S., Leshchinskiy L.K., Mazur V.A., Samotugina Yu.S. *Instrumental'nye materialy. Svoystva i uprochnenie* [Instrumental material. Properties and hardening]. Mariupol, PSTU Publ., 2013. 430 p. (Rus.)
7. Leshchinskiy L.K. Povyshenie resursa raboty naplavlennykh rolikovykh napravliaiushchikh mashin nepreryvnogo lit'ia zagotovok [Resource enhancement work overlaid roller runner continuous casting machines]. *Svarochnoe proizvodstvo – Welding production*, 1991, no. 1, pp. 9-11. (Rus.)
8. Dombrovskiy F.S., Leshchinskiy L.K. *Rabotosposobnost' naplavlennykh rolikov mashin nepreryvnogo lit'ia zagotovok* [Operability overlaid rollers continuous casting machines]. Kiev, Institute of welding named by E.O. Paton Publ., 1995. 198 p. (Rus.)
9. Yasniy P.V., Marushchak P.O. *Roliki MBLZ: degradatsiya i trishchinostiikost' materialiv* [Casters CASTER: degradation and fracture toughness of materials]. Ternopil, Dzhura Publ., 2009. 232 p. (Ukr.)
10. Vdovin K.N., Podosyan A.A., Berdnikov A.S. Spособы povysheniia stoikosti rolikov MNLZ [Ways resistance rollers CASTERS]. *Stal' – Steel*, 2010, no. 5, pp. 112-114. (Rus.)
11. Welding consumables, automated welding equipment, wearplates, surface protection services Available at: www.welding-alloys.com (accessed 10 April 2015).
12. Orlov L.N., Golyakevich A.A. Vosstanovitel'naia naplavka detalei metallurgicheskogo oborudovaniia poroshkovymi provolokami v ООО «ТМ. ВЕЛТЕК». *Anotatsii dopovidei Mizhn. konf. «Svarka i rodstvennyye tekhnologii – nastoiashchee i budushchee»* [Restoration surfacing of metallurgical equipment components with flux-cored wires in «ТМ. ВЕЛТЕК LTD». Abstracts of Int. Conf. «Welding and related technologies. Present and future»]. Kiev, 2013, pp. 177-179. (Rus.)

Рецензент: В.В. Суглобов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 15.09.2016