

ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.771.23

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ НАНОСТРУКТУРИРОВАННОГО ВЫСОКОПРОЧНОГО ЛИСТОВОГО ПРОКАТА

Чукин М.В.¹, Салганик В.М.¹, Полецков П.П.¹, Денисов С.В.²,
Кузнецова А.С.¹, Бережная Г.А.¹, Гущина М.С.¹

¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия

² Магнитогорский металлургический комбинат, Россия

Аннотация. В статье рассмотрена актуальность освоения стратегически важной для РФ технологии производства высокопрочных сталей и листового проката, предназначенных для импортозамещения. Освоение указанной продукции планируется в условиях ОАО «ММК» совместно с учеными МГТУ при поддержке Минобрнауки России.

Ключевые слова: наноструктурированные высокопрочные стали, листовой прокат, механические свойства, импортозамещение, машиностроение.

Введение

Одним из стратегических направлений развития отечественной экономики в целом и металлургической промышленности России в частности является активное внедрение наукоемких технологий с применением последних инновационных достижений. Это диктует необходимость создания принципиально новых материалов, а также разработки сталей и листового проката, обладающего комплексом трудносочетаемых свойств.

Освоение технологии производства новых марок сталей для импортозамещения

Основными потребителями высокопрочного листового металлопроката являются предприятия машиностроительного комплекса. Последний в свою очередь является одним из ключевых секторов экономики, уровень развития которого в значительной степени определяет состояние экономического потенциала Российской Федерации, ее конкурентоспособность на внутреннем и мировом рынках, а также обороноспособность государства [1, 2].

В связи с этим стратегически важным для РФ является создание и освоение технологии производства аналогов импортных высокопрочных броневого типа:

– MARS 190-300 (Creusot-Loire Industrie, Франция);

– Miilux PROTECTION 320T-500T (Miilux Ltd, Финляндия);

– Ramor 400-500 (Rautaruukki Corporation, Финляндия);

– ARMOX 370T-600T (SSAB, Швеция).

Для автомобильной отрасли и кранового хозяйства стратегия импортозамещения также включает разработку, освоение и производство импортных аналогов типа:

– Hardox, Domex, Weldox, Toolox (SSAB, Швеция) [3, 4];

– Raex, Optim (Rautaruukki Corporation, Финляндия);

– Aldur, Alform, Durostat (voestalpine Stahl GmbH, Австрия);

– Dillidur, Dillimax (Dillinger Hütte GTS, Германия) [5].

Учеными ФГБОУ ВПО «МГТУ» совместно с ОАО «ММК» – одним из ведущих российских металлургических предприятий – при поддержке Минобрнауки России начата реализация комплексного проекта по разработке инновационного процесса производства импортозамещающего наноструктурированного листового проката с уникальным комплексом механических свойств. Данный проект реализуется в рамках постановления Правительства РФ №218. Цель и задачи проекта соответствуют Приоритетному направлению развития науки, технологий и техники в Российской Федерации «Индустрия наносистем», утвержденному Указом Президента РФ №899 от 7 июля 2011 года.

Необходимость и актуальность продвижения рассматриваемого проекта связана со значительным увеличением потребности в высокопрочном

листовом прокате. О высокой востребованности высокопрочного проката на российском рынке свидетельствуют результаты маркетинговых исследований (см. таблицу).

Потребление высокопрочного импортного проката

Назначение	Марка	Потребность по годам, тыс. т						Фирма	Страна	Член ЕС, НАТО
		2015	2016	2017	2018	2019	2020			
Оборонная промышленность	MARS 190-300	180	190	165	170	175	185	Creusot-Loire Industrie	Франция	ЕС, НАТО
	Miilux Protection 320T-500T							Miilux Ltd	Финляндия	ЕС
	Ramor 400-500							Rautaruukki Corporation		
	ArmoX 370T-600T									
Крановая отрасль	Domex 240 YP, Domex 315MC-700MC, Domex 960							SSAB	Швеция	ЕС, НАТО
	Docol 900M-1500M									
Автомобильная промышленность	Raex 300-500							Rautaruukki Corporation	Финляндия	ЕС
	Aldur 500-700 Q, QL, QL1							Voestalpine Stahl GmbH	Австрия	
Мостостроение	Alform plate 355M-550M									
Тяжелое машиностроение	Durostat 400-500							Rautaruukki Corporation	Финляндия	ЕС, НАТО
	Optim 500MC-700MC									
	Weldox 700-1300									
	Hardox 400-600, HiTuf, Extreme							SSAB	Швеция	
Машиностроение	Toolox 33-44									

Наибольшим спросом на российском рынке пользуется импортный листовой прокат для кранового производства. Интерес к зарубежным производителям обусловлен конкурентной ценой, возможностью поставки небольшими партиями (30–60 т), гибкими условиями оплаты, наличием комплексной технической поддержки клиента.

Потребителями износостойкого листового проката являются в основном предприятия машиностроительного комплекса (для изготовления конструкций зубьев экскаваторных ковшей, дробилок, несущих частей горнодобывающих машин и других деталей, подверженных высокой степени износа). Их интерес обусловлен в значительной степени отсутствием на рынке российских аналогов гарантированного уровня качества соизмеримой стоимости.

Хладостойкий высокопрочный листовой прокат представляют такие стали, как Weldox 900-1300 и Dillimax 890-1100. Прокат из этих сталей широко востребован при производстве несущих конструкций транспортной техники, эксплуатируемой в условиях Крайнего Севера.

Высокопрочный высокопрочный листовой прокат, предназначенный для противопожарной защиты корпусов транспортных средств гражданского (бронированные автомобили, инкассаторские машины) и военного назначения (спецавтотехника), имеет небольшой процент потребления ввиду особенностей рынка, в том числе ввиду его закрытости для иностранных поставщиков и ориентации на отечественного производителя.

Доля импорта инструментального листового проката (из сталей марок типа Toolox) составляет менее 1%. Поскольку такие стали применяют для слесарно-монтажных, деревообрабатывающих, режущих и штамповочных инструментов, в Россию они попадают в виде импорта непосредственно готовых изделий, следовательно, и потребление заготовок для их производства (т.е. инструментального листового проката) практически отсутствует.

Характеристика объекта разработки

В рамках комплексного проекта к выпуску планируется инновационная продукция – наноструктурированный высоко-

прочный листовой прокат с уникальным сочетанием механических свойств (прочность 700–2000 Н/мм², твердость свыше 280 НВ, удлинение не менее 8%), получаемым вариацией химического состава, режимов прокатки и термообработки. Другой особенностью предлагаемой продукции являются ее геометрические размеры – ширина проката достигает 4800 мм (минимальная ширина 1500 мм). Общий диапазон толщин составит от 6 до 80 мм при преимущественной доле тонкого сортамента (менее 8 мм). Следовательно, большое внимание будет уделено проблемам получения высокой плоскостности.

Объединение указанных выше основных характеристик разрабатываемой продукции будет обобщено в высокой технологии ее производства с подходами и принципами наноструктурирования.

Планируемый к выпуску наноструктурированный высокопрочный листовой прокат предназначен для следующего применения:

1) для противопожарной защиты корпуса транспортных средств – высокопрочный высокопрочный листовой прокат;

2) для тяжелой подъемно-транспортной техники – высокотвердый износостойкий листовой прокат;

3) для кранового производства и легкой транспортной техники – высокопрочный листовой прокат;

4) для несущих конструкций транспортной техники – хладостойкий высокопрочный листовой прокат;

5) для высокоточного машиностроительного оборудования – инструментальный высокопрочный листовой прокат.

Гарантией успешного достижения целей выполняемого проекта является использование оборудования, имитирующего реальные процессы производства стали и проката, ООО «Термодеформ-МГТУ» [6] и центра коллективного пользования научным оборудованием «Научно-исследовательский институт наносталей» при ФГБОУ ВПО «МГТУ», позволяющее осуществлять поиск технологических режимов производства новых высокопрочных сталей и листового проката, предназначенных для импортозамещения.

Заключение

Проведен анализ стратегических направлений новых материалов на основе высокопрочных сталей. Определены основные позиции аналогов импортных высокопрочных сталей, планируемых к производству в рамках комплексного проекта.

Список литературы

1. Минэкономразвития России. Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. URL: <http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz>.
2. Стратегия развития черной металлургии России на 2014-2020 годы и на перспективу до 2030 года: приказ Минпромторга России от 05.05.2014 №839. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165502/.
3. Глинер Р.Е. Разработки в области производства высокопрочной листовой стали в Швеции (сталь Domex, Docol, AHSS) // Производство проката. 2009. 10. С. 11–18.
4. Дьяков М. А. Износостойкие детали HARDOX - Ваше конкурентное преимущество // Горная промышленность. 2013. №5. С. 45.
5. Износостойкие стали для добычи сырьевых материалов: [сталь марки Dillidur 450 V и Dillimax 690 E для металлургического оборудования] // Черные металлы. 2014. №3. С. 102–103.
6. Физическое моделирование процессов производства горячекатаного листа с уникальным комплексом свойств / В.М. Салганик, С.В. Денисов, П.П. Полецков, П.А. Степанов, Г.А. Бережная, Д.Ю. Алексеев // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2014. № 3. С. 37–39.

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

MAIN TYPES AND APPLICATION OF NANOSTRUCTURED HIGH-STRENGTH SHEET PRODUCTS

Chukin Mikhail Vitalevich – D.Sc. (Eng.), Professor, First Vice-Rector, Vice-Rector for Science and Innovation, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 3519 298 526. E-mail: m.chukin@mail.ru.

Salganik Viktor Matveevich – D.Sc. (Eng.), Professor, Head of the Metal Forming Department, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 3519 298 506.

Poletskov Pavel Petrovich – D.Sc. (Eng.), Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 3519 298 525. E-mail: pavel_poletskov@mail.ru.

Denisov Sergey Vladimirovich – D.Sc. (Eng.), Head of Central Laboratory, OJSC «Magnitogorsk Iron and Steel Works», Russia.

Kuznetsova Alla Sergeevna – Research Associate, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 3519 328 512. E-mail: allakuznetsova.mgtu@mail.ru.

Berezhnaya Galina Andreevna – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 3519 298 525. E-mail: galina_1609@mail.ru.

Gushchina Marina Sergeevna – Postgraduate Student, Nosov Magnitogorsk State Technical University, Russia. Phone: +7 3519 298 525. E-mail: marina.mgn.89@mail.ru.

Abstract. The article deals with relevant development of the production technology of high-strength steels and sheet products, which are strategically important for the Russian Federation and intended for import substitution. Development of the specified products is planned in the conditions of OJSC MMK together with NMSTU academics and supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

Keywords: nanostructured high-strength steels, sheet

products, mechanical properties, import substitution, mechanical engineering.

References

1. The Ministry of Economic Development of the Russian Federation: The Long-Term Socio-Economic Development Forecast for the Russian Federation till 2030. Available at <http://www.economy.gov.ru/minec/activity/sections/macro/prognoz>.
2. The Russian steel industry development strategy for 2014–2020

- and till 2030: Order of the Ministry of Industry and Trade of Russia No. 839 dated 05.05.2014. Available at http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_165502/.
3. Gliner R.E. Development in the field of high-strength sheet steel in Sweden (Domex, Docol, AHSS). *Proizvodstvo prokata* [Rolled Products Manufacturing], 2009, no. 10, pp. 11-18 (in Russ.).
 4. Dyakov M.A. HARDOX wear-resistant parts - your competitive advantage. *Gornaya promyshlennost* [Mining Industry], 2013, no. 5, pp. 45. (in Russ.).
 5. Wear-resistant steels for mining of raw materials: [Dillidur 450 V and Dillimax 690 E for metallurgical equipment]. *Chernye metally* [Ferrous metals], 2014, no. 3, pp. 102-103 (in Russ.).
 6. Salganik V.M., Denisov S.V., Poletskov P.P., Stekanov P.A., Berezhnaya G.A., Alekseev D.Yu. Physical Modeling of Production Processes of Hot Rolled Plates with a Unique Set of Properties. *Vestnik Magnitogorskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University], 2014, no. 3, pp. 37-39 (in Russ.).

УДК 669.01

ИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ СТАРЕНИЕ ЭКОНОМНО ЛЕГИРОВАННОЙ ДУПЛЕКСНОЙ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Калльери И.¹, Бреда М.¹, Фриго М.², Пеллиццари М.³, Рамоус Э.¹¹ Кафедра промышленного производства Падуанского университета, Италия² Outokumpu S.p.A., Генуя, Италия³ Кафедра промышленного производства университета Тренто, Италия

Аннотация. Благоприятное сочетание механических свойств и устойчивости к коррозии в дуплексных нержавеющих сталях (DSS) обусловлено двухфазной микроструктурой стали, в которой примерно в равном объеме содержатся феррит и аустенит. Однако во всех сталях типа DSS наблюдаются процессы выделения вторичных фаз, особенно в интервале температур 600–1000°C, которые могут происходить даже в течение весьма продолжительных периодов выдержки, ухудшая притягательные свойства этих сталей.

Основной вторичной фазой, наблюдаемой в сталях типа DSS, является интерметаллическая σ -фаза, которая образуется из феррита в результате эвтектоидного распада при высоких температурах и обычно сопровождается образованием ещё одной интерметаллической фазы – χ -фазы. Выделение данных фаз наблюдается в основном в высоколегированных марках стали DSS, в то время как в «легких» сталях DSS с меньшим содержанием легирующих элементов они не отмечаются, возможно, благодаря пониженному содержанию хрома и молибдена. Напротив, во всех марках стали DSS обычно наблюдается выделение нитридов.

В данной статье рассматривается кинетика выделения вторичных фаз на примере двух марок экономно легированной дуплексной нержавеющей стали после изотермической обработки в межкритическом интервале температур. В стали марки LDX 2101 были обнаружены только нитриды, в то время как в LDX 2404 наблюдалось значительное выделение σ -фазы, если продолжительность выдержки составляла более часа.

Ключевые слова: экономно легированные дуплексные нержавеющие стали, изотермическая обработка, σ -фаза, нитрид хрома, кинетика выделения вторичных фаз.

Введение

Дуплексные нержавеющие стали (DSS) – это двухфазные аустенитно-ферритные нержавеющие стали, в которых присутствие обеих фаз в равных объемных долях обеспечивает хорошие механические свойства металла в сочетании с высокой коррозионной стойкостью. Они представляют большой интерес для промышленности в связи с благоприятным сочетанием свойств, которые позволяют применять такие марки стали в качестве конструкционных материалов для очень агрессивных сред. Равно как и нержавеющие стали других категорий, стали DSS подраз-

деляют на категории на основании показателя PRE_N (числовой эквивалент стойкости к питтинговой или точечной коррозии) – параметра, который зависит от объемного состава сплава, что позволяет провести ранжирование (хотя и качественное) по стойкости к точечной коррозии. По показателю PRE_N выделяют четыре категории стали DSS: экономно легированная, стандартная, супер- и гипердуплексная нержавеющая сталь. Экономно легированные стали DSS – это, главным образом, хромомарганцевые стали с низким содержанием никеля и молибдена, а к остальным категориям относятся марки нержавеющей стали на основе системы Cr-Ni-Mo, то есть с большим