УДК 621.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИННОВАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТАЛЬНОЙ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ

Э. М. ГОЛУБЧИК¹, д-р техн. наук, доцент, golub66@mail.ru; Е. М. МЕДВЕДЕВА¹, аспирант;
В. Е. ТЕЛЕГИН², канд. техн. наук, ведущий специалист НТЦ
(¹ Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Россия, г. Магнитогорск; ² Магнитогорский металлургический комбинат, Россия, г. Магнитогорск)

Аннотация. В качестве альтернативы холоднокатаному прокату все чаще рассматривается горячекатаная травленая полоса с нормируемым уровнем механических свойств, высокой точностью изготовления, а также с пониженным уровнем дефектности поверхности. Областью ее применения является, в частности, производство деталей автомобилей с использованием операций холодной штамповки и вырубки. Анализ опыта освоения технологии производства горячекатаной травленной ленты взамен холоднокатаной в качестве товарной продукции выявил ряд проблем в части обеспечения нормируемого уровня шероховатости поверхности и достигаемых значений по точности выполнения геометрических параметров. Представлены результаты комплексных исследований, проводимых учеными МГТУ им. Г.И. Носова совместно со специалистами ПАО ММК в период освоения новой технологии изготовления горячекатаной травленной дрессированной ленты. В рамках этих исследований разработана новая технологическая схема производства стальной горячекатаной травленной ленты толщиной 3,1 мм из стали 07ГБЮ, исключая стадию холодной прокатки. В качестве финишной предусмотрена операция дрессировки, что позволило повысить стойкость горячекатаной травленной ленты к циклическим нагрузкам. Установлено, что после дрессировки увеличивается однородность шероховатости поверхности по всей площади и длине рулона травленной ленты. Проведенные комплексные исследования позволили разработать технологические воздействия, применяемые к горячекатаной продукции на стадиях финишной отделки без проведения операции холодной прокатки, позволяющие обеспечивать в горячекатаной травленной дрессированной ленте уровень свойств, соответствующий ведущим мировым стандартам на данную продукцию.

Ключевые слова: холоднокатаный прокат, горячекатаная лента, дрессировка, термообработка, шероховатость поверхности.

Ссылка для цитирования. Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Телегин В.Е. Исследование возможностей инновационной технологии изготовления стальной горячекатаной дрессированной ленты // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2019. Т. 75. № 2. С. 214–221.

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-2-214-221

STUDY OF INNOVATION TECHNOLOGY POSSIBILITIES OF STEEL HOT-ROLLED TEMPERED STRIP PRODUCTION

E. M. GOLUBCHIK¹, HD (Tech), Prof. Ass., golub66@mail.ru; E. M. MEDVEDEVA¹, postgraduate;
V. E. TELEGIN², PhD (Tech), Leading specialist of NTZ
(¹ Magnitogorsk State Technical University after G.I. Nosov, Russia, Magnitogorsk;
² Magnitogorsk Steel-works, Russia, Magnitogorsk)

Abstract. Hot-rolled strip having normalized level of mechanical properties, produced with high accuracy as well as having decreased level of surface defects is considered often as an alternative to a cold-rolled product. An area of its utilization includes, in particular, production of automobile parts by cold stamping and blanking operations. Analysis of experience of mastering of hot-rolled pickled strip technology instead of cold-rolled one as a marketable product revealed a series of problems related to provision of normalized level of surface roughness and obtained values of geometric parameters accuracy. Results of complex study represented, carried out by scientists of MGTU after G.I. Nosov together with PAO MMK within the period of mastering of new technology of hot-rolled pickled tempered strip production. Within the study a new technological flow-chart was elaborated for 3.1 mm thick steel hot-rolled pickled strip of steel 07ГБЮ production, excluding the stage of cold rolling. An operation of tempering was envisaged as a finished one, w enabled to increase resistance of hot-rolled pickled strip against cyclic loads. It was determined, that after tempering the coarseness uniformity increases along the whole surface and coil length of pickled strip. The carried out complex studies enabled to elaborate the technological effect, applied to hot-rolled products at the stage of finishing without cold rolling operation, that enables to have the level of properties in the hot-rolled pickled tempered strip, correspondent to existing world standards for such a product.

Key words: cold-rolled product, hot-rolled strip, tempering, heat treatment, surface coarseness.

For citation. Golubchik E.M., Medvedeva E.M., Telegin V.E. Study of innovation technology possibilities of steel hot-rolled tempered strip production. *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ekonomicheskoi informatsii* = *Ferrous metallurgy. Bulletin of scientific, technical and economic information*, 2019, vol. 75, no. 2, pp. 214–221. (In Russ.).

Doi: 10.32339/0135-5910-2019-2-214-221

По мере развития металлургической промышленности, и в частности прокатного производства, происходит освоение новых технологий, характеризующихся как внедрением новых материалов и видов продукции, так и использованием традиционных, но с расширенным комплексом свойств, что обусловлено требованиями современного рынка металлопродукции. Для занимающего достаточно большую долю рынка потребления горячекатаного штрипса данная тенденция нашла отражение в стремлении к вытеснению применяемого ранее холоднокатаного проката на готовую продукцию, произведенную на предшествующих переделах.

В качестве альтернативы холоднокатаному прокату может быть рассмотрена горячекатаная полоса, в том числе травленая, с нормируемым уровнем механически свойств, высокой точностью изготовления, а также с пониженным уровнем дефектности поверхности. Области применения такой полосы являются производства с использованием операций холодной штамповки и вырубке деталей автомобилей [1–3]. В цехе углеродистой ленты ПАО “Магнитогорский металлургический комбинат” (ММК) освоено производство горячекатаной ленты посредством роспуска горячекатаной полосы.

Имеющийся опыт освоения технологии производства горячекатаной травленой ленты в качестве товарной продукции выявил ряд проблем в части обеспечения нормируемого уровня шероховатости поверхности и достигаемых значений по точности выполнения геометрических па-

раметров. Это связано с ограниченными возможностями технологического воздействия на данные показатели на стадии операции травления [4, 5].

Достаточно новым направлением развития прокатного производства является разработка инновационных результативных технологических решений по созданию новой продуктовой линейки горячекатаной ленты с задействованием операций ее финишной отделки, при этом уровень качества ленты должен быть сформирован по аналогии с регламентируемым стандартами уровнем на холоднокатаный прокат. Для формирования и управления характеристиками горячекатаных полос на стадии их финишной отделки широкое применение находят операции дрессировки и термической обработки. Операция докритического отжига способствует формированию равновесной однородной структуры, последующая дрессировка — формированию высокой точности изготовления по толщине, обеспечению повышенной плоскостности, устранению площади текучести, формированию нормируемой чистоты и шероховатости поверхности [6, 7].

С этой точки зрения актуальной является задача исследования возможностей изготовления стальной горячекатаной травленой дрессированной ленты, предназначенной для холодной штамповки и вырубке деталей автомобилей, а также формовки и сварки труб различного назначения с обеспечением нормируемого потребителями “дополнительного” уровня качества товарной ленты.

Методика проведения исследований

В рамках проводимых учеными Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова исследований применительно к производственным условиям ПАО ММК была разработана новая технологическая схема производства стальной горячекатаной травленой ленты толщиной 3,1 мм из стали 07ГБЮ, хими-

ческий состав которой приведен в табл. 1. При этом исключалась стадия холодной прокатки, а в качестве финишной технологической переработки была предложена дополнительная операция дрессировки [8–11]. Лента предназначалась для последующей штамповки дисков колес отечественных автомобилей.

ТАБЛИЦА 1. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ИССЛЕДУЕМОЙ СТАЛИ 07ГБЮ, %

TABLE 1. CHEMICAL COMPOSITION OF 07ГБЮ STEEL UNDER STUDY, %

C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	N ₂	Al	Nb	Ti
0,11	0,30	0,80	0,015	0,020	0,30	0,30	0,30	0,010	0,020–0,050	0,015–0,045	0,025

На рис. 1 представлена разработанная технологическая схема изготовления горячекатаной травленной дрессированной ленты из низкоуглеродистых сталей 07ГБЮ и 08пс.

Рис. 1. Разработанная технологическая схема производства горячекатаной травленной ленты с применением операции дрессировки

Fig. 1. Elaborated process flowsheet of production of hot-rolled pickled strip will application of temper rolling operation

Дополнительное введение операции дрессировки в технологический процесс производства предполагает повышение стойкости горячекатаной травленной ленты к циклическим нагрузкам и, соответственно, повышение усталостных характеристик уже готовых отштампованных автомобильных колес за счет:

- уменьшения продольной и поперечной разнотолщинности;
- минимизации дефектов формы;

- обеспечения равновесной структуры металлопроката для снижения внутренних напряжений;

- повышения ресурса технологической переработки в готовое изделие;

- придания прокату максимального качества исполнения поверхности в соответствии с требованиями стандартов [12, 13].

Операция дрессировки горячекатаной травленной ленты осуществлялась на двухклетевом прокатно-дрессировочном стане 630 (НПДС 630) ПАО ММК.

Пробы для определения механических характеристик отбирались до и после процесса редуцирования полосы в линии НПДС 630. Замеры шероховатости аналогично производились до и после технологического воздействия рабочих валков на поверхность ленты. Кроме того, изменяя параметры относительного обжатия от 0,5 до 2,5 % по длине рулона с выходом на новую его величину (примерно каждые 50 м), производили оценку показателя R_a переносным прибором Surtronic 25. Замер шероховатости поверхности образцов производился на стационарном приборе профилографе-профилометре HOMMEL TESTER T8000.

Для повышения точности оценки уровня шероховатости поверхности, полученной на дрессированной ленте, были проведены исследования с применением 3D-методов измерения микротопографии. Согласно международному стандарту ISO 4287 были проведены замеры поверхности по трем профилям: первичному профилю (P), профилю шероховатости (R) и профилю волнистости (W). Исследование проводили с использованием современного сканирующего зондового микроскопа (СЗМ) Nanoeducator II производства группы компаний NT-MDT на базе научно-исследовательского института “Наносталей” при МГТУ им. Г.И. Носова. При сканировании образцов зонд микроскопа позиционировался под прямым углом к исследуемой поверхности

Результаты исследования и их обсуждение

Достигнутый уровень механических свойств и показателей шероховатости травленной дрессированной ленты представлен в табл. 2 и 3 соответственно, при этом по результатам использования операции дрессировки насеченными ра-

бочими валками качество отделки поверхности горячекатаной травленной дрессированной ленты соответствует группе 2 ГОСТ 16523 и категории MB по EN 10139.

ТАБЛИЦА 2. МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТРАВЛЕННОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ

TABLE 2. MECHANICAL PROPERTIES OF PICKLED PLANISHED STRIP

Сталь	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	Предел текучести, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Твердость HRB, ед.	Изгиб
07ГБЮ	Фактические замеры				
	480	410	36	77	Уд.
	Нормируемое стандартами значение				
	≥440	≥360	≥30	≤80	Уд.

ТАБЛИЦА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ Ra_{2,5} ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ТРАВЛЕННОЙ ДРЕССИРОВАННОЙ ЛЕНТЫ, мкмTABLE 3. RESULTS OF MEASURING OF SURFACE COARSENESS Ra_{2,5} OF HOT-ROLLED PICKLED PLANISHED STRIP, micron

Место отбора проб	Ориентировка образца	Точка замера по длине полосы, м					
		0	60	110	160	220	270
До дрессировки	0° (вдоль)	1,71	1,78	1,71	1,8	1,63	1,71
	90° (поперек)	2	1,89	2,1	1,97	1,92	1,88
	45°	1,96	1,85	1,9	1,86	1,72	1,73
После дрессировки	0° (вдоль)	1,6	1,52	1,56	1,5	1,47	1,5
	90° (поперек)	1,69	1,77	1,71	1,59	1,68	1,62
	45°	1,72	1,64	1,56	1,52	1,57	1,61

Проведенные исследования показали, что применяемые технологические воздействия в условиях НПДС 630 не снижают уровень качественных характеристик готовой ленты. При этом в связи с отсутствием площадки текучести повышается штампуемость металлопроката после процедуры его дрессировки. Дрессировка позволила снизить анизотропию шероховатости поверхности между различными углами к направлению прокатки, повысить степень однородности шероховатости поверхности.

В результате визуализации полученных данных 3D изображений поверхности (табл. 4) с использованием средств компьютерной графики получены 3М изображения в виде двумерных яркостных (2D) изображений профилей шероховатости (рис. 2, 3). При 2D визуализации каждой точке поверхности $Z = f(x, y)$ ставился в соответствие тон определенного цвета (или позиция в шкале многоцветной палитры) в зависимости от высоты (z-координаты) точки поверхности.

ТАБЛИЦА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ВЫЧИСЛЕНИЯ АМПЛИТУДНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАЗЦОВ ДО И ПОСЛЕ ДРЕССИРОВКИ

TABLE 4. RESULTS OF CALCULATION OF SAMPLES AMPLITUDE PARAMETERS BEFORE AND AFTER TEMPER ROLLING

Параметр*	Значения амплитудных параметров (пик и впадина) по стандарту ISO 4287							
	до дрессировки				после дрессировки			
Rp	0,738	0,611	1,539	0,96	1,574	0,926	1,334	0,832
Rv	0,46	0,988	2,044	0,997	1,988	0,455	1,131	0,578
Rc	0,623	0,814	3,584	0,662	0,563	1,382	2,465	0,693
Pr	0,686	0,653	2,294	0,89	1,406	0,543	1,3	0,917
Pv	0,519	1,044	3,84	1,077	2,259	1,467	1,56	0,585
Pc	0,618	0,819	3,84	0,659	0,768	1,467	2,914	0,925
Wp	0,144	0,0944	0,919	0,114	0,496	0,39	0,339	0,18
Wv	0,108	0,112	0,919	0,204	0,372	0,39	0,803	0,0958

* Rp, Rr, Wp, *maximum profile peak height* (максимальная высота пика профиля) — наибольшая высота пика профиля Zp в пределах выборочной длины; Pv, Rv, Wv, *maximum profile valley depth* (максимальная глубина впадины профиля) — наибольшая глубина впадины профиля Zv в пределах выборочной длины.

Рис. 2. СЗМ изображение и профиль шероховатости поверхности исследуемой ленты до дрессировки

Fig. 2. Scanning microprobe picture and coarseness profile of strip surface under study before temper rolling

Рис. 3. СЗМ изображение и профиль шероховатости поверхности исследуемой ленты после дрессировки

Fig. 3. Scanning microprobe picture and coarseness profile of strip surface under study after temper rolling

Из анализа представленных графических результатов исследований видно снижение уровня шероховатости и повышение однородности поверхности.

Что касается визуальной оценки поверхности ленты, то дрессированная лента имеет более высокую однородность шероховатости, что является благоприятным для эргономичности

внешнего вида и процесса нанесения лакокрасочных покрытий, а также характеризуется отсутствием линий изломов (рис. 4).

На рис. 5 представлен диск колеса автомобиля “Лада Приора” ПАО “АвтоВАЗ”, отштампованный из опытной партии горячекатаной травленной дрессированной ленты из стали 07ГБЮ производства ПАО ММК.

Рис. 4. Внешний вид поверхности опытной партии дрессированной ленты (а) и недрессированной ленты серийного проката (б)

Fig. 4. External view of surface of a test batch planished strip (a) and non-planished strip of regular rolling (б)

Рис. 5. Диск колеса, полученный из горячекатаной травленой дрессированной ленты из стали 07ГБЮ

Fig. 5. Wheel disc manufactured of hot-rolled pickled planished strip of 07ГБЮ steel

Выводы

1. Комплексные исследования позволили разработать технологические воздействия, применяемые к горячекатаной продукции на стадиях финишной отделки без операции холодной прокатки, позволяющие обеспечивать в горячекатаной травленной дрессированной ленте уровень свойств, соответствующий ведущим мировым стандартам на данную продукцию.

2. В процессе дрессировки горячекатаной травленной ленты установлен диапазон изменения ее механических свойств и параметров шероховатости поверхности. Установлено, что после дрессировки увеличивается однородность шероховатости поверхности по всей площади и длине рулона травленной ленты.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мазур В.Л., Сафьян А.М., Приходько И.Ю., Яценко А.И. Управление качеством тонколистового проката. — Киев: Техніка, 1997. — 384 с.
2. Мазур В.Л. Производство горячекатаных травленных полос и листов с термической обработкой и без нее // Производство проката. 2012. № 4. С. 45–49.
3. Третьяков А.В., Третьяков Е.М., Мигачева Г.Н. Дрессировка и качество тонкого листа. — М.: Металлургия, 1977. — 232 с.
4. Голубчик Э.М. Адаптивное управление качеством металлопродукции // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2014. № 1. С. 63–69.
5. Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Смирнов П.Н., Горшков С.Н. Особенности технологии производства холоднокатаной ленты для монетной заготовки // Черные металлы. Специальный выпуск. 2012. С. 61–64.
6. Голубчик Э.М., Телегин В.Е., Шебаршова И.М., Севастьянов А.С. Исследование возможностей технологии производства горячекатаной травленной ленты с управляемой шероховатостью поверхности // Производство проката. 2014. № 11. С. 11–15.
7. Korchunov A.G., Gun G.S., Shiryayev O.P., Pivovarov K.G. Study of structural transformation of hot-rolled carbon billets for high-strength ropes for responsible applications via the method of thermal analysis // CIS Iron and Steel Review. 2017. № 1. P. 39–42.
8. Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Мартынова Т.Ю. Исследование инновационной технологии производства горячекатаной травленной дрессированной ленты // Обработка сплошных и слоистых материалов. 2017. № 1. С. 59–61.
9. Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Телегин В.Е., Васильев И.С. Разработка технологии изготовления горячекатаной ленты с повышенными потребительскими свойствами // Материалы тр. XII всерос. научно-практич. конф. “Современные проблемы горно-металлургического комплекса. Наука и производство”. — Старый Оскол, 2015. Т. 1. С. 208–212.
10. Голубчик Э.М., Медведева Е.М., Телегин В.Е. Разработка новой технологии производства травленной дрессированной ленты // Новые решения в области упрочняющих технологий: взгляд молодых специалистов: материалы междунар. научно-практич. конф. (22–23 декабря 2016 г.). — Курск: Университетская книга, 2016. Т. 1. С. 254–258.
11. Голубчик Э.М., Медведева Е.М. Исследование возможностей формирования механических свойств в горячекатаной травленной ленте // Материалы V Междунар. научно-техн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов “Высокие технологии в современной науке и технике”. Томск, 5–7 декабря, 2016 г. С. 138, 139.
12. Nakata N., Militzer M. Modelling of Microstructure Evolution during Hot Rolling of a 780 MPa High Strength Steel // ISIJ International. 2005. V. 45. № 1. P. 82–90.
13. Golubchik E.M., Medvedeva E.M., Gulin A.E., Polyakova M.A. Features of roughness formation during production of the hot-rolled temper-rolled band // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 411 (2018) 012045. P. 5. doi:10.1088/1757-899X/411/1/012045.

Поступила 17 ноября 2018 г.

REFERENCES

1. Mazur V.L., Saf'yan A.M., Prikhod'ko I.Yu., Yatsenko A. I. *Upravlenie kachestvom tonkolistovogo prokata* [Quality management of thin rolled products]. Kiev: Tekhnika, 1997, 384 p. (In Russ.).
2. Mazur V.L. Production of hot-rolled pickled strips and sheets with heat treatment and without it. *Proizvodstvo prokata*, 2012, no. 4, pp. 45–49. (In Russ.).
3. Tret'akov A.B., Tret'yakov E.M., Migacheva G.N. *Dressirovka i kachestvo tonkogo lista* [Temper rolling and quality of thin sheet]. Moscow: Metallurgiya, 1977, 232 p. (In Russ.).
4. Golubchik E.M. Adaptive quality management of metal products. *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 2014, no. 1, pp. 63–69. (In Russ.).
5. Golubchik E.M., Telegin V.E., Smirnov P.N., Gorshkov S.N. Features of the technology of production of cold-rolled band for the coin blank. *Chernye metally. Spetsial'nyi vypusk*, 2012, pp. 61–64. (In Russ.).
6. Golubchik E.M., Telegin V.E., Shebarshova I.M., Sevast'yanov A.S. Study of possibilities of the production technology of hot-rolled pickled band with controlled surface roughness. *Proizvodstvo prokata*, 2014, no. 11, pp. 11–15. (In Russ.).

7. Korchunov A.G., Gun G.S., Shiryaev O.P., Pivovarov K.G. Study of structural transformation of hot-rolled carbon billets for high-strength ropes for responsible applications via the method of thermal analysis. *CIS Iron and Steel Review*, 2017, no. 1, pp. 39–42.
8. Golubchik E.M., Medvedeva E.M., Martynova T.Yu. Investigation of the innovative production technology of hot-rolled pickled planished band. *Obrabotka sploshnykh i sloistykh materialov*, 2017, no. 1, pp. 59–61. (In Russ.).
9. Golubchik E.M., Medvedeva E.M., Telegin V.E., Vasil'ev I.S. *Razrabotka tekhnologii izgotovleniya goryachekatanoi lenty s povyshennymi potrebitel'skimi svoistvami* [Development of technology for the manufacture of hot-rolled band with enhanced consumer properties]. *Trudy XII vseros. nauchno-praktich. konf. "Sovremennye problemy gornometallurgicheskogo kompleksa. Nauka i proizvodstvo"* [Proc. of the XII All-Russian scientific and practical. conf. "Modern problems of the mining and metallurgical complex. Science and Production"]. Staryi Oskol, 2015, vol. 1, pp. 208–212. (In Russ.).
10. Golubchik E.M., Medvedeva E.M., Telegin V.E. *Razrabotka novoi tekhnologii proizvodstva travlenoi dressirovannoi lenty* [Development of a new production technology of pickled planished band]. *Novye resheniya v oblasti uprochnyayushchikh tekhnologii: vzglyad molodykh spetsialistov: trudy Mezhdunar. nauchno-praktich. konf. (22–23 dekabrya 2016 g.)* [New solutions in the field of strengthening technologies: a view of young specialists: proc. of the Intern. scientific and practical conf. (December 22–23, 2016)]. Kursk: ZAO "Universitetskaya kniga", 2016, vol. 1, pp. 254–258. (In Russ.).
11. Golubchik E.M., Medvedeva E.M. *Issledovanie vozmozhnostei formirovaniya mekhanicheskikh svoistv v goryachekatanoi travlennoi lente* [Study of the possibility of forming mechanical properties in hot-rolled pickled band]. *Trudy V Mezhdunar. nauchno-tekhn. konf. molodykh uchenykh, aspirantov i studentov "Vysokie tekhnologii v sovremennoi nauke i tekhnike". Tomsk, 5–7 dekabrya, 2016 g.* [Proc. of the V Intern. scientific and technical conf. young scientists, graduate students and students "High technology in modern science and technology". Tomsk, December 5–7, 2016]. Tomsk, 2016, pp. 138, 139. (In Russ.).
12. Nakata N., Militzer M. Modelling of Microstructure Evolution during Hot Rolling of a 780 MPa High Strength Steel. *ISIJ International*, 2005, vol. 45, no. 1, pp. 82–90.
13. Golubchik E.M., Medvedeva E.M., Gulin A.E., Polyakova M.A. Features of roughness formation during production of the hot-rolled temper-rolled band. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 411 (2018) 012045. p. 5. doi:10.1088/1757-899X/411/1/012045.

Received November 17, 2018