

Обработка давлением поверхности прутков из титановых сплавов поперечной обкаткой*

Антимонов А.М., Пушкарева Н.Б.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
г. Екатеринбург, Российская Федерация
nbpush@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований процесса поперечной обкатки прутков из титановых сплавов. Показана эффективность использования такого процесса для снижения шероховатости поверхности. Проведены испытания образцов после обкатки на коррозионную стойкость, ультразвуковой контроль, а также исследования микроструктуры металла. Для поперечной обкатки прутков в промышленных условиях разработана и создана технологическая оснастка, предназначенная для установки на действующих бесцентрово-токарных станках взамен оснастки с режущим инструментом. Производственные испытания нового оборудования показали его хорошую работоспособность.

Ключевые слова: прутки из титана, обкатка поверхности, качество, режимы, оборудование

ВВЕДЕНИЕ

Показатели качества поверхности отечественной металлопродукции из титана существенно влияют на ее конкурентоспособность на мировом рынке металлов [1-3]. Международный рынок предъявляет повышенные требования к макро- и микрогеометрии поверхности титановых прутков. Удовлетворение этих требований обеспечивает товарный вид готовой продукции и надежность ультразвукового контроля металла (УЗК) [4, 5].

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Заключительной операцией производства проката является обработка поверхности для удаления с нее дефектного слоя [6]. Основными показателями качества поверхности после обработки являются шероховатость и волнистость [7]. По существующей технологии прутки диаметром 20–250 мм после прокатки иликовки обтачивают на бесцентрово-токарных станках [8]. Шероховатость поверхности в этом случае составляет Ra 2,5, а высота волны из-под резца – 0,03 мм, что не всегда удовлетворяет предъявляемым требованиям к прокату со специальной отделкой поверхности [9]. Дальнейшее снижение шероховатости и высоты волны требует применения дополнительных отделочных операций. Традиционно для этой цели используется бесцентровое шлифование. Однако, при шлифовании также возникают дефекты поверхности в виде царапин, трещин, прижогов, цветов побежалости и внедрения абразивных частиц в поверхностный слой [10]. Таким образом возникает необходимость применения более эффективных методов финишной обработки поверхности металлопроката.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Другим способом повышения качества поверхности является пластическая деформация поверхностного слоя поперечной обкаткой [11-17]. Для оценки эффективности данного метода при обработке титановых сплавов, которые обладают повышенными адгезионными свойствами, провели лабораторные исследования процесса обкатки прутков из легированного алюминия и ванадием сплава марки Grade5 по стандарту США.

Поперечную обкатку осуществляли тремя роликами без отдельного привода, установленными под углом 120° друг к другу в клетки с опорными кольцами [18, 19]. При вращении клетки ролики совершают планетарное движение вокруг заготовки и в контакте с опорными кольцами образуют калибр, определяющий диаметр изделия. Настройка клетки на этот диаметр осуществляется относительным перемещением опорных колец в осевом направлении. Заготовка не вращается, но имеет движение подачи в направлении собственной оси. При обкатке в клетки данной конструкции необходимо обеспечить высокую степень совмещения оси калибра, образованного вальцами и оси заготовки, что требует тщательной настройки оборудования.

Существенное влияние на состояние обрабатываемой поверхности оказывают режимы обработки [20]. Поэтому особое внимание уделяли их варьированием. В конечном итоге определили, что наиболее рационально обкатку прутков диаметром 20 мм из вышеуказанного сплава следует вести при частоте вращения клетки 200-300 об/мин, с осевой подачей заготовки 80-200 мм/мин и абсолютным обжатием по диаметру 0,01-0,052 мм.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты лабораторных исследований состояния поверхности образцов после обточки и обкатки на этих режимах, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты лабораторных исследований образцов

Вид обработки поверхности	Шероховатость, Ra	Высота волны, мм	Твердость, НВ	Микротвёрдость, МПа-10
Обточка	2,0-3,4	0,030-0,037	326 - 423	354-381
Обкатка	0,2-1,8	0,010-0,020	346 - 401	381-421

* Статья публикуется по рекомендации программного комитета Международной научно-практической конференции "Материаловедение и металлургические технологии" (RusMetalCon-2018), <https://rusmetalcon.susu.ru>

Из табл. 1 следует, что шероховатость и высота волны поверхности после обкатки уменьшается более чем в два раза. Незначительно повышается микротвёрдость поверхностного слоя металла, что связано с его упрочнением. В то же время твердость по Бринеллю остается на прежнем уровне, т.к. толщина упрочненного слоя является незначительной.

Состояние поверхностного слоя оказывает комплексное влияние на эксплуатационные характеристики изделий [21-24]. Для более полной оценки влияния обкатки на свойства прутков провели испытания на коррозионную стойкость, УЗК, а также исследования микроструктуры. Испытания на коррозионную стойкость проводили при комнатной температуре травлением образцов в растворах соляной и серной кислот в течение 100 часов. Эти результаты представлены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты испытаний образцов на коррозионную стойкость

Вид обработки поверхности	Коррозионная среда	Показатели коррозии	
		весовой, г/м ² ·ч	линейный, мм/год
Обкатка	15% HCl	0,524	1,046
	20% H ₂ SO ₄	0,531	1,060
Обточка	15% HCl	0,513	1,023
	20% H ₂ SO ₄	0,530	1,057

Дефектоскопию прутков УЗК проводили в соответствии с действующим регламентом [25]. По результатам испытаний можно сделать следующие выводы:

- применение обкатки в клетке с опорными кольцами снижает шероховатость поверхности в среднем с 2,0-3,4 мкм до 0,2-1,8 мкм по параметру Ra.
- высота волны после обкатки зависит от режимов обработки и может быть снижена до требуемого уровня;
- твердость, коррозионная стойкость и микроструктура образцов до и после обкатки примерно одинаковы, различий результатов по УЗК также не обнаружено.

Таким образом, использование поперечной обкатки в качестве отделочной операции значительно улучшает качество поверхности, в то время как заметного влияния на другие характеристики изделия обкатка не оказывает.

ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Экспериментальные исследования показали существенное повышение качества поверхности прутков. Для реализации процесса обкатки в заводских условиях выполнили работы по проектированию, изготовлению и испытаниям промышленного образца роликковой клетки, рис. 1.

Клеть предназначена для установки на планшайбу бесцентрово-токарного станка взамен резцовой головки, рис. 2.

Клеть имеет следующую техническую характеристику: диаметр роликов 50 мм; диаметр прутка 80-140 мм; сила на ролике при давлении воздуха в цилиндре 0,5 Мпа - 20 кН; габариты: диаметр 780 мм; размер вдоль оси 220 мм; масса 290 кг.

Аналогично лабораторному варианту обкатка заготовки производится тремя роликами, которые совершают планетарное движение вокруг заготовки. Заготовка не вращается

и перемещается в осевом направлении. Радиальная подача роликом производится пневматическими цилиндрами, которые вращаются вместе с клетью. Подвод сжатого воздуха от магистрали к цилиндрам производится через коллектор. Точное совмещение осей планшайбы и заготовки на вышеуказанных станках невозможно. В этих условиях клеть с опорными кольцами использовать нельзя из-за жестких требований к совмещению оси калибра, образованному валками, и оси заготовки. Применение пневматического привода исключает этот недостаток, так как каждый ролик прижимается к заготовке отдельно, причём с постоянной силой. В этом случае деформация заготовки при обкатке также будет постоянной.



Рис. 1. Роликковая клеть

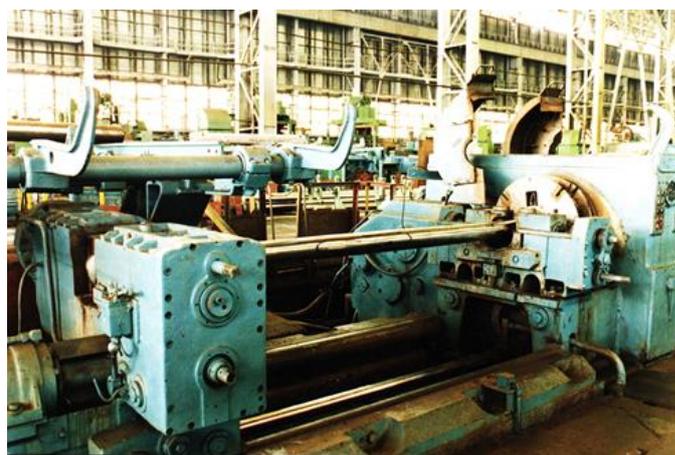


Рис. 2. Бесцентрово-токарный станок с роликковой клетью

С целью упрощения обслуживания клетки при эксплуатации ролики установлены в специальных кассетах (рис. 3), которые можно быстро снимать и устанавливать обратно через отверстие в коллекторе. Конструкция кассет обеспечивает самостоятельную установку роликов относительно заготовки, что увеличивает поверхность их контакта при обкатке.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

Промышленные испытания клетки показали её хорошую работоспособность. Обкатке подвергали прутки длиной до 6000 мм из технически чистого и легированного титана марок Grade2 и Grade5. Частота вращения клетки составляла 25-40 об/мин, осевая подача прутка – 60-200 мм/мин.

Обжатие по диаметру заготовки зависело от силы воздействия роликов на заготовку. Эта сила определялась давлением воздуха в цилиндрах, которое регулировалось и достигало 0,5 МПа. Результаты исследований влияния вида обработки на качество поверхности прутков представлены в табл. 3.



Рис. 3. Быстросъемные кассеты с роликами

Таблица 3
Влияние метода обработки на качество поверхности прутков

Заготовка		Вид обработки поверхности	Средняя шероховатость, R_a	Высота волны, мм
материал св, МПа	диаметр, мм			
Grade2, 400 – 550	102	обточка	3,75	0,075
		обкатка	0,20	0,016
Grade 5, 850 – 1000	130	обточка	1,40	0,015
		обкатка	0,99	0,014

Согласно этим результатам наблюдается существенное улучшение качества поверхности после обкатки прутков из технически чистого титана. Повышение качества прутков из легированного титана менее заметно, несмотря на то, что давление воздуха в цилиндрах было максимальным. Для технически чистого титана такое давление является избыточным. Повышение давления более 0,3 МПа влияния на качество поверхности не оказывает, поэтому в данном случае давление устанавливали равным 0,35 МПа.

Выводы

1. Использование поперечной обкатки в качестве отделочной операции значительно снижает шероховатость и волнистость поверхности, в то время как заметного влияния на другие характеристики изделия, в том числе на результаты УЗК, обкатка не оказывает;
2. Обкатка прутков из технически чистого титана существенно повышает качество поверхности, в то время как повышение качества поверхности прутков из легированного титана менее заметно, что объясняется высокими механическими свойствами металла;
3. Обкатку прутков из технически чистого титана следует вести при средних значениях давления воздуха в цилиндрах, а для прутков из легированного титана давление воздуха должно быть максимальным;
4. Эффективность использования обкатки прутков из титановых сплавов для повышения качества поверхности

позволяет рекомендовать этот метод обработки поверхности заготовок взамен точения и шлифования;

5. Применение клетки предложенной конструкции даёт возможность осуществлять обкатку титановых прутков на действующих бесцентрово-токарных станках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Марухин М.А. Мировой рынок титана: анализ за период с 1993 по 2013 год // Цветные металлы. – 2014. – №3. – С. 12-14.
2. Шан Фушань. Состояние и тенденции развития производства цветных металлов в КНР// Цветные металлы. – 2013. – №12. – С. 16-19.
3. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей - резерв в повышении конкурентоспособности машин // Справочник. Инженерный журнал. – Москва: Машиностроение, 2001. – №4. – С. 3-9.
4. Щербинский В.Г. Технология ультразвукового контроля сварных соединений. – Москва: Тиссо, 2003. – С. 14-18.
5. ГОСТ 24507-80. Контроль неразрушающий. Поковки из черных и цветных металлов. Методы ультразвуковой дефектоскопии. – М.: Стандартинформ, 2010. – 10 с.
6. Машины и агрегаты металлургических заводов. Том 3. Машины и агрегаты для производства и отделки проката. / А.И. Целиков, П.И. Полухин и др.– Москва: Металлургия, 1988. – 576 с.
7. ГОСТ 2789-73. Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики. – М.: Стандартинформ, 2018. – 7 с.
8. Егоров М.Е. Технология машиностроения. – 2-е изд. / М.Е. Егоров, В.И. Дементьев, В.Л. Дмитриев. – Москва: Высшая школа, 1976. – 535 с.
9. ГОСТ 14955-77. Сталь качественная круглая со специальной отделкой поверхности. Технические условия. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2004. – 9 с.
10. Бернштейн М.Л. Атлас дефектов стали; Пер. с нем. – Москва: Металлургия, 1979. – 185 с.
11. ГОСТ 18296-72 Обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Издательство стандартов, 1972. – 13 с.
12. Зайдес С.А. Технологические процессы поверхностного пластического деформирования: монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 404 с.
13. Одинцов Л.Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным деформированием: Справочник. – Москва: Машиностроение, 1987. – 328 с.
14. Папшев Д.Д. Упрочнение деталей обкаткой шариками. – Москва: Машиностроение, 1968. – 132 с.
15. Браславский В.М. Технология обкатки крупных деталей роликами. – Москва: Машиностроение, 1976. – 158 с.
16. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. – Москва: Машиностроение, 2002. – 300 с.
17. Олейник Н.В. Поверхностное динамическое упрочнение деталей машин. / Н.В. Олейник, В.П. Кычин, А.Л. Луговской. – Киев: Техника, 1984. – 151 с.
18. Антимонов А.М. Разработка и экспериментальное исследование процесса подготовки концов труб к бухтовому волочению / А.М. Антимонов, А.А. Лаптев //

Теория машин металлургического и горного оборудования: межвуз. сб. научн. тр. – Свердловск: УПИ, 1987. – Вып. 11. – С. 134-138.

19. Антимонов А.М. Повышение качества поверхности прутков из титановых сплавов поперечной обкаткой / А.М. Антимонов, А.А. Лаптев, В.С. Смирнов // Цветные металлы. – 2000. – №9. – С. 59-60.

20. Чепя П.А. Определение режимов упрочнения деталей машин поверхностным пластическим деформированием / П.А. Чепя, С.С. Салькова, В.К. Яценко // Вестник машиностроения. – 1983. – №7. – С. 14-17.

21. Чепя П.А. Эксплуатационные свойства упрочненных деталей. / П.А. Чепя, В.А. Андрияшин. – Минск: Наука и техника, 1988. – 192 с.

22. Блюменштейн В.Ю. Механика поверхностного слоя при обработке размерным совмещенным обкатыванием /

В.Ю. Блюменштейн, М.С. Махалов // Упрочняющие технологии и покрытия. – Москва: Машиностроение, 2006. – №2. – С. 18-26.

23. Блюменштейн В.Ю. Механика технологического наследования на стадиях обработки и эксплуатации деталей машин. / В.Ю. Блюменштейн, В.М. Смелянский. – Москва: Машиностроение-1, 2007. – 400 с.

24. Сулима А.М. Качество поверхностного слоя и усталостная прочность деталей из жаропрочных и титановых сплавов. / А.М. Сулима, М.И. Евстигнеев. – Москва: Машиностроение, 1974. – 256 с.

25. ГОСТ 21120-75. Прутки и заготовки круглого и прямоугольного сечения. Методы ультразвуковой дефектоскопии. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 7 с.

DOI: 10.24892/RIJE/20180408

Surface Pressure Treatment of Titanium Alloy Bars by Transverse Rolling

Antimonov A.M., Pushkareva N.B.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin

Ekaterinburg, Russian Federation

nbpush@mail.ru

Abstract. The results of the process experimental studies of titanium alloys transverse rolling bars are presented. The efficiency of using such a process for reducing the surface roughness is shown. The samples were tested after rolling on corrosion-resistance resistance, ultrasonic testing, and also the study of the metal microstructure was made. For the bars transverse rolling in industrial conditions, a tooling was developed and created, intended for installation on operating centerless lathes instead of tooling with a cutting tool. Production tests of new equipment has shown its good performance.

Keywords: titanium bars, surface rolling, quality, modes, equipment.

REFERENCES

1. Marukhin M.A. World titanium market: analysis for the period from 1993 to 2013 [Mirovoy rynek titana: analiz za period s 1993 po 2013 god], *Tsvetnye metally [Non-ferrous metals]*, 2014, no.3, pp. 12-14. (in Russ.)

2. Shang Fushan. The state and development trends of the production of non-ferrous metals in the PRC [Sostoyanie i tendentsii razvitiya proizvodstva tsvetnykh metallov v KNR], *Tsvetnye metally [Non-ferrous metals]*, 2013, no.12, pp. 16-19. (in Russ.)

3. Suslov A.G. Part Surface Engineering - a reserve in improving the competitiveness of machines [Inzheneriya poverkhnosti detaley - rezerv v povyshenii konkurentosposobnosti mashin], *Spravochnik. Inzhenernyy zhurnal [Handbook. Engineering Journal]*, Moscow: Mechanical Engineering, 2001, no.4, pp. 3-9. (in Russ.)

4. Scherbinsky V.G. *Tekhnologiya ul'trazvukovogo kontrolya svarnykh soedineniy* [Technology of ultrasonic testing of welded joints], Moscow: Tissot, 2003, pp. 14-18. (in Russ.)

5. GOST 24507-80. *Kontrol' nerazrushayushchiy. Pokovki iz chernykh i tsvetnykh metallov. Metody ul'trazvukovoy*

defektoskopii [Non-destructive testing. Forgings from ferrous and non-ferrous metals. Ultrasonic methods of slow defec-tion], Moscow, Standardinform, 2010, 10 p. (in Russ.)

6. Tselikov A.I., Polukhin P.I. et al. *Mashiny i agregaty metallurgicheskikh zavodov. Tom 3. Mashiny i agregaty dlya proizvodstva i otdelki prokata* [Machines and units of metal-lurgical plants. Volume 3. Machines and units for the produc-tion and finishing of rolled products], Moscow, Metallurgy, 1988, 576 p. (in Russ.)

7. GOST 2789-73. *Sherokhovatost' poverkhnosti. Parametry i kharakteristiki* [Surface roughness. Parameters and characteristics], Moscow, Standardinform, 2018, 7 p. (in Russ.)

8. Yegorov M.E., Dementiev V.I., Dmitriev V.L. *Tekhnologiya mashinostroeniya. – 2-e izd.* [Engineering technology. - 2nd ed.], Moscow, High School, 1976, 535 p. (in Russ.)

9. GOST 14955-77. *Stal' kachestvennaya kruglaya so spetsial'noy otdelkoy poverkhnosti. Tekhnicheskie usloviya* [Quality round steel with special surface finish. Specifications], Moscow, IPK Publishing house of standards, 2004, 9 p. (in Russ.)

10. Bernstein M.L. *Atlas defektov stali; Per. s nem.* [Atlas of steel defects], Moscow, Metallurgy, 1979, 185 p. (in Russ.)

11. GOST 18296-72. *Obrabotka poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem* [Surface working. Terms and defini-tions], Moscow, Publishing house of standards, 1972, 13 p. (in Russ.)

12. Zaydes S.A. *Tekhnologicheskie protsessy poverkhnostnogo plasticheskogo deformirovaniya: monografiya* [Technological processes of surface plastic deformation: monograph], Irkutsk, Publishing house ISTU, 2007, 404 p. (in Russ.)

13. Odintsov L.G. *Uprochnenie i otdelka detaley poverkhnostnym deformirovaniem: spravochnik* [Hardening and finishing of parts by surface deformation: a handbook], Moscow, Mechanical Engineering, 1987, 328 p. (in Russ.)

14. Papshev D.D. *Uprochnenie detaley obkatkoy sharikami* [Hardening parts run-in balls], Moscow, Mechanical Engineering, 1968, 132 p. (in Russ.)

15. Braslavsky V.M. *Tekhnologiya obkatki krupnykh detaley rolikami* [Technology running large parts rollers], Moscow, Mechanical Engineering, 1976, 158 p. (in Russ.)

16. Smelyansky V.M. *Mekhanika uprochneniya detaley poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem* [Mechanics of hardening of parts by surface plastic deformation], Moscow, Mechanical Engineering, 2002, 300 p. (in Russ.)

17. Oleinik N.V., Kychin V.P., Lugovskoy A.L. *Poverkhnostnoe dinamicheskoe uprochnenie detaley mashin* [Surface dynamic hardening of machine parts], Kiev, Technics, 1984, 151 p. (in Russ.)

18. Antimonov A.M., Laptev A.A. Development and experimental study of the process of preparing pipe ends for bay drawing [Razrabotka i eksperimental'noe issledovanie protsessa podgotovki kontsov trub k bukhtovomu volocheniyyu], *Trudy "Teoriya mashin metallurgicheskogo i gornogo oborudovaniya"* [Proc. "Theory of metallurgical and mining equipment machines"], Sverdlovsk, UPI, 1987, vol.11, pp. 134-138. (in Russ.)

19. Antimonov A.M., Laptev A.A., Smirnov V.S. Improving the quality of the surface bars of titanium alloys cross-running [Povyshenie kachestva poverkhnosti prutkov iz titanovykh splavov poperechnoy obkatkoy], *Tsvetnye metally [Non-ferrous metals]*, 2000, no.9, pp. 59-60. (in Russ.)

20. Chepa P.A., Salkova S.S., Yatsenko V.K. Determination of hardening modes of machine parts by surface plastic

deformation [Opredelenie rezhimov uprochneniya detaley mashin poverkhnostnym plasticheskim deformirovaniem], *Vestnik mashinostroeniya [Bulletin of mechanical engineering]*, 1983, no.7, pp. 14-17. (in Russ.)

21. Chepa P.A., Andriyashin V.A. *Ekspluatatsionnye svoystva uprochnennykh detaley* [The performance properties of hardened parts], Minsk, Science and technology, 1988, 192 p. (in Russ.)

22. Blumenstein V.Yu., Makhlov M.S. Mechanics of the surface layer when machining dimensional combined run-in [Mekhanika poverkhnostnogo sloya pri obrabotke razmernym sovmeshchennym obkatyvaniem], *Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya [Strengthening technologies and coatings]*, Moscow, Mechanical Engineering, 2006, no.2, pp. 18-26. (in Russ.)

23. Blumenshtein V.Yu., Smelyansky V.M. *Mekhanika tekhnologicheskogo nasledovaniya na stadiyakh obrabotki i ekspluatatsii detaley mashin* [Mechanical technological inheritance at the stages of processing and operation of machine parts], Moscow, Mashinostroenie-1, 2007, 400 p. (in Russ.)

24. Sulima A.M., Evstigneev M.I. *Kachestvo poverkhnostnogo sloya i ustalostnaya prochnost' detaley iz zharo-prochnykh i titanovykh splavov* [The quality of the surface layer and the fatigue strength of parts made of heat-resistant and titanium alloys], Moscow, Mechanical Engineering, 1974, 256 p. (in Russ.)

25. GOST 21120-75. *Prutki i zagotovki kruglogo i pryamougol'nogo secheniya. Metody ul'trazvukovoy defektoskopii* [Round, square and rectangular bars and billets. Ultrasonic echo method control], Moscow, Publishing house of standards, 1988, 7 p. (in Russ.)

Библиографическое описание статьи

Антимонов А.М. Обработка давлением поверхности прутков из титановых сплавов поперечной обкаткой / А.М. Антимонов, Н.Б. Пушкарева // Машиностроение: сетевой электронный научный журнал. – 2018. – Т.6, №4. – С. 39-43. DOI: 10.24892/RIJE/20180408

Reference to article

Antimonov A.M., Pushkareva N.B. Surface pressure treatment of titanium alloy bars by transverse rolling, *Russian Internet Journal of Industrial Engineering*, 2018, vol.6, no.4, pp. 39-43. DOI: 10.24892/RIJE/20180408