DOI: 10.15593/2224-9982/2017.51.13

УДК 620.17

В.Р. Туктамышев, Е.В. Колодочкина, К.Н. Поликарпова, А.С. Нуртдинов

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ИСПРАВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРЕДНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОЛУЧЕНИЯ ЗАДАННЫХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ДЕТАЛЯХ ИЗ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Рассмотрены методы анализа остаточных напряжений в поверхностном слое деталей из титана. Проведен анализ источников по тематике остаточных напряжений в поверхностном слое деталей, получаемых путем лезвийной обработки, и их измерений. Выделена методика рентгеновской дифрактометрии для измерения остаточных напряжений в поверхностных слоях деталей, полученных путем лезвийной обработки, с помощью роботизированного комплекса Xstress Robot. Дано описание методики измерений остаточных напряжений методом рентгеновской дифрактометрии с применением роботизированных комплексов. Приведены результаты измерений остаточных напряжений в титановом образце. Проведен анализ полученных результатов. Результаты анализа приведены в графической форме. Образец подвергался лезвийной обработке на токарном станке с ЧПУ для получения распределения остаточных напряжений в поверхностном слое. В состоянии поставки термическая обработка образца не проводилась. Остаточные напряжения контролировались на различной длине с целью получения статистически достоверной выборки. Сделан вывод о характере распределения остаточных напряжений в поверхностном слое деталей из титановых сплавов. Выявлено незначительное влияние лезвийной обработки на распределение остаточных напряжений в поверхностном слое образца. Намечены пути дальнейших исследований.

Ключевые слова: остаточные напряжения, роботизированный комплекс, рентгеновская дифрактометрия, неразрушающий контроль, титан, напряженное состояние.

V.R. Tukhtamyshev, E.V. Kolodochkina, K.N. Polikarpova, A.S. Nurtdinov

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

EVALUATION OF THE POSSIBILITY OF CORRECTING DEFECTS PRESTRESSED STATE WITH THE AIM OF OBTAINING THE SET OF RESIDUAL STRESSES IN PARTS MADE OF TITANIUM ALLOYS

The article describes methods of stress analysis the surface layer of titanium. Conducted the analysis of sources on the subject. Obtained technique X-ray diffraction for measuring stresses by means of complex robotic Xstress Robot. Given a description stress measurement techniques. Presented results of measurement of stresses in the titanium sample. The results are shown in graphical form. The sample was subjected to edge cutting processing on CNC lathe. Upon delivery of the sample was not carried out heat treatment. Stresses controlled at various lengths. The conclusion about the nature of the stresses. Revealed a negligible impact processing blade of stresses distribution in the sample. Identified ways of further research.

Keywords: residual stresses, robotic complex, X-ray diffraction, nondestructive testing, titanium, stressed state.

Введение

В современной авиационной промышленности насчитывается множество конструктивно сложных изделий, которые имеют повышенные требования к точности изготовления, качеству поверхностей, а также к эксплуатационным свойствам продукции и ресурсу ее работы.

Имеющиеся технологические процессы изготовления деталей насчитывают ряд серьезных затруднений в связи с появлением общего коробления, на которое влияет перераспределение остаточных напряжений (далее – ОН), возникающих в детали в процессе ее изготовления. Данное утверждение актуально для такого типа деформаций, как уровень ОН первого рода.

Внутренние напряжения первого рода возникают между различными частями детали и между отдельными зонами сечения. Они достигают наибольшего значения при повышении

температуры, которая зависит от скорости и равномерности охлаждения, а также от размера детали, в сечении при термической обработке.

Анализ проблемы

В настоящее время существует много методов, позволяющих оценить и спрогнозировать остаточные деформации деталей, но все они носят частный характер и не позволяют проектировать технологические процессы большинства подобных деталей, устраняющих коробление, поэтому вопрос устранения ОН остается актуальным.

Для определения вида и значений ОН используют метод рентгеновской дифрактометрии. С помощью данного метода можно, не нарушая целостности детали, определить величину напряжений. Данный метод позволяет оптимизировать задачи технологических процессов, также его можно сочетать с другими методами контроля ОН.

В статье [1] рассмотрены ОН, а также их влияние на детали, в особенности на производство ответственных изделий. Предлагается выбрать метод для измерения напряжений. Авторы формулируют требования, предъявляемые к методу и контрольному оборудованию для ОН в производственных условиях и условиях лаборатории. В результате приведены аргументы в пользу выбора метода рентгеновской дифрактометрии. Для осуществления этого метода была оборудована лаборатория, основой которой является роботизированный комплекс. Были проведены измерения на плоских и круглых образцах, на детали сложной формы. Данные вопросы также рассматриваются в работах [2, 3].

Результаты, приведенные в статье, показывают большие перспективы применения роботизированного измерительного комплекса для изучения воздействия различных технологических процессов и операций на величину и знак ОН. Применение роботизированного комплекса обеспечивает повторяемость результатов и унификацию технологии измерений на различных видах и типоразмерах деталей. Результаты исследований могут применяться при создании баз данных и математических моделей для проектирования вновь разрабатываемых технологических процессов, а также для оптимизации существующих технологических процессов.

В статье [4] рассматривается воздействие ОН на трудоспособность конструкций, т.е. и величина, и распределение критичных напряжений для рабочих параметров поверхностного слоя материала. Решением этой проблемы является создание и использование методов и средств выявления ОН, полезное действие которых определяется их истинностью и производительностью. В результате актуален метод электронной спекл-интерферометрии в комбинации с методом отверстий. На основе этих методов были осуществлены испытания. Выполненные эксперименты показали, что на точность выявления ОН воздействует толщина объекта, который подвергается исследованию. Исходя из этого при помощи полученной математической модели, расчетов и результатов анализировалось воздействие геометрических параметров исследуемой части объекта. Данные вопросы также рассматриваются в других работах [5–10].

Совершенствование метода электронной спекл-интерферометрии позволило создать методику выявления ОН, которая имеет очень высокую точность, истинность полученных результатов и новизну при выявлении ОН в материалах и узлах конструкций. При создании спекл-интерферометрического метода выявления ОН применена новейшая вычислительная техника, современные алгоритмы, базирующиеся на методе конечных элементов, и созданное авторами программное обеспечение.

В статье А.В. Улыбина представлен обзор методов неразрушающего контроля напряжений в стальных узлах конструкции и деталях [11]. Из всех методов автор выделяет и рассматривает почти новую запатентованную разработку – аппаратуру «СИТОН-ТЕСТ», базирующуюся на резистивном электроконтактном методе неразрушающего контроля для изучения напряжений. Для подтверждения данной гипотезы были проведены экспериментальные исследования, в которых была определена линейная прямо пропорциональная зависимость удельно-

го электрического сопротивления от одноосных напряжений растяжения-сжатия при упругом деформировании материала. Данные вопросы также рассматриваются в методических разработках¹.

Данные эксперименты дали понять, что резистивный электроконтактный метод можно использовать для контроля напряжений в стальных элементах и изделиях.

При анализе статей было выявлено, что авторы не пришли к более доступной и простой методике, по которой можно определить ОН в условиях производства.

Исследование

В настоящей работе была поставлена цель – разработать унифицированную методику создания технологического процесса с гарантированным получением ОН в поверхностном слое.

Все измерения проводились на роботизированном комплексе измерения ОН Xstress Robot (рис. 1). Принцип его работы основан на методе рентгеновской дифрактометрии. С помощью гониометра (рис. 2), который может работать на роботе в любом положении, посылаются лучи в точку измерения на деталь. Отраженные лучи улавливает линейный датчик изображения. На гониометре установлен сменный коллиматор, который позволяет обеспечивать размер пятен от 1 до 5 мм.

Рис. 1. Xstress Robot

Рис. 2. Образец

Характеристики используемого в работе гониометра:

- 1) линейные датчики изображения с угловым разрешением 0,014–0,057 град/пиксель;
- 2) диапазон 2θ : 125–162°;
- 3) χ -наклон: программируемый –60...+60°;
- 4) χ -осцилляция: программируемая 0...±6°;
- 5) ϕ -осцилляции: с пошаговой регулировкой ±180°;
- 6) расстояние между гониометром и точкой измерения автоматически регулируется с точностью до ±0,003 мм;
- 7) гониометр на роботе может работать в любом положении;
- 8) рентгеновская трубка Cr, Ti;
- 9) сменный коллиматор обеспечивает пятна размером 1–5 мм.

Программное обеспечение XTronic робота Xstress Robot позволяет выполнять измерения в двух режимах: Modified X (модифицированный) и ω -режим. Режим Modified X (модифициро-

¹ Специализированная методика контроля остаточных технологических напряжений методом рентгеновской дифрактометрии с применением Комплекса обеспечения технологического проектирования в образцах материала, используемого в производстве газотурбинных двигателей авиационного и наземного назначения, № 2012/444-1.23. ПНИПУ. 2014. 21 с.; XP A09-285–1999. Неразрушающий контроль. Методы испытания для определения остаточных напряжений по дифракции рентгеновских лучей / AFNOR (Фр. ассоциация по стандартизации). 1999. 28 с.

ванный) представляет собой стандартный режим измерений, когда дуга детектора находится в положении, показанном на рис. 2. Режим ω используется в специальных случаях, когда другой режим не подходит, например для измерения зубчатых колес в осевом направлении. Поскольку в нашем случае измерения проводили на детали типа вала, то использовался модифицированный режим.

При выполнении измерений напряжения задаются следующие параметры: число вращений и угол вращения.

При активации вращения система автоматически выполняет то количество измерений в последовательности, которое запрограммировано в настройках углов вращения. Как только цикл измерения начнется, гониометр проверяет эталон (бесконтактный переключатель) для установления положения $\varphi = 0^\circ$, и по окончании цикла гониометр вновь возвращается в исходное положение. После этого можно посмотреть данные измерений при различных вращениях.

Основа метода рентгеновской дифрактометрии (рис. 3) заключается в том, что плоскопараллельный монохроматический пучок рентгеновских лучей падает под углом ϑ на кристаллическую решетку. Попадая на атомы вещества, рентгеновские лучи рассеиваются, причем наибольшей интенсивностью будут обладать лучи, отраженные под углом ϑ . Но эти лучи, попадающие на различные атомы решетки, также взаимодействуют между собой.

Рис. 3. Метод рентгеновской дифрактометрии

Условие усиления соблюдается, если колебания находятся в одной фазе и разность длины лучей (от плоскости *A* до плоскости *B*) равна целому числу волн. Если d – расстояние между кристаллографическими плоскостями, то

$$2d \sin \vartheta = n\lambda,$$

где λ – длина волны рентгеновского луча; n – целое число – порядок отражения, $n = 1, 2, 3, \dots$.

Рентгеновские лучи, не удовлетворяющие указанному соотношению, взаимно гасятся. Угол между падающим и отраженным рентгеновскими лучами ($\alpha = 180 - 2\vartheta$) зависит от расстояния между плоскостями кристаллической решетки, длины волны и порядка отражения и позволяет вычислить межплоскостное расстояние решетки при напряженном состоянии металла. Указанное условие лежит в основе определения ОН.

Для достижения поставленной цели была взята заготовка диаметром 19 мм и длиной 70 мм в виде прутка (рис. 4). В ходе работы прутки были проточены на токарном станке Amada Machine Tools A-12 с ЧПУ Fanuc 18i-TB, в результате чего был получен образец в виде вала (рис. 5), на котором проводили измерения ОН первого рода в поверхностном слое.

Рис. 4. Заготовка

Рис. 5. Образец

Перед началом обработки проводилась термическая обработка [12].

Обработка прутка проводилась в следующем порядке (рис. 6):

1. Подрезка правого торца.
2. Точение канавки шириной 5 мм и глубиной 3 мм, точение диаметра за два прохода с глубиной 0,5 мм до размера $\varnothing 18$ мм на длине 5 мм.
3. Точение канавки шириной 5 мм и глубиной 3 мм, точение диаметра за два прохода с глубиной 0,5 мм до размера $\varnothing 18$ мм на длине 10 мм.
4. Точение канавки шириной 5 мм и глубиной 3 мм, точение диаметра за два прохода с глубиной 0,5 мм до размера $\varnothing 18$ мм на длине 15 мм.

Рис. 6. Процесс обработки заготовки

Рис. 7. Сечение образца

Для измерений на установке Xstress Robot данный образец был разбит в сечении на четыре сектора (рис. 7) с интервалом в 90° .

Далее последовательно на каждом проточенном диаметре в каждом секторе было взято по одной точке P_3 , P_4 , P_5 , после чего в каждой точке проводились измерения под углом 0° , -45° и -90° . Полученные данные обработали статистически и математически в программе Microsoft Excel. Результаты представлены ниже в виде графиков (рис. 8).

Данные математической обработки полученных результатов приведены в таблице. Были вычислены следующие числовые характеристики выборки:

1. Среднее

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

2. Медиана – решение уравнения $\dot{F}(x) = 0,5$, где $\dot{F}(x)$ – эмпирическая функция распределения.

3. Стандартное отклонение

$$s = \sqrt{s^2}.$$

Рис. 8. Значения напряжений в точках сечения профиля

4. Дисперсия выборки

$$D = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}.$$

5. Эксцесс

$$\dot{E} = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{(s^2)^2} - 3.$$

6. Асимметричность – коэффициент асимметрии

$$\dot{a} = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3}.$$

7. Интервал – размах варьирования

$$x_{\max} - x_{\min}.$$

8. Минимум $x_{\min}$.

9. Максимум $x_{\max}$.

10. Сумма $\sum x_i$.

Данные математической обработки

Характеристики	СЕКТОР 1	СЕКТОР 2	СЕКТОР 3	СЕКТОР 4
Среднее	–133,3	–456,2	174,4	–335,7
Медиана	–146,7	–436,7	119,3	–337,9
Стандартное отклонение	72,3	70,6	143,7	38,7
Дисперсия выборки	5231,5	4982,7	20650,2	1498,0
Эксцесс	–0,6	1,9	3,2	0,3
Асимметричность	0,5	–1,6	1,8	0,6
Интервал	213,2	215,6	465,8	128,2
Минимум	–218,6	–608,7	37,4	–391,6
Максимум	–5,4	–393,1	503,2	–263,4
Сумма	–1199,9	–4105,5	1569,5	–3021,3

Предполагалось, что в состоянии поставки в заготовке были заложены большие ОН, при этом они достаточно непредсказуемые как по знаку, так и по значению.

При анализе результатов измерения выявили, что в трех секторах из четырех по всей длине, т.е. в трех измеренных точках, присутствуют сжимающие напряжения, а в одном секторе по всей длине наблюдаются растягивающие напряжения. При этом наблюдается большой разброс значений напряжений, соответственно, можно предположить, что до обработки присутствовало напряженное состояние.

Заключение

На основе полученных данных можно сделать вывод, что необходимо вводить отпуск и исключать напряженное состояние, чтобы ОН нормализовались по всей длине для гарантии качества получаемых изделий. На базе этого следует разработать технологию с гарантированным получением постоянных по знаку и по значению ОН.

Данный вопрос требует подробного изучения в целях управления и оптимизации технологических параметров обработки для обеспечения требуемых показателей качества и повышения надежности ответственных деталей авиационно-космической техники.

Библиографический список

1. Опыт применения роботизированного комплекса XSTRESS для измерения технологических остаточных напряжений / В.В. Карманов, В.Н. Трофимов, А.С. Нуртдинов, С.Н. Звонов // Вестник Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2015. – № 1(49). – С. 55–59.
2. Влияние режимов механической обработки стали 09Г2С на формирование остаточных напряжений / В.Н. Трофимов, В.В. Карманов, Ю.В. Панин, А.В. Бачева // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2015. – № 3. – С. 48–53.
3. Определение остаточных напряжений при одноосной пластической деформации цилиндрического стержня / В.Н. Трофимов, В.В. Карманов, Ю.В. Панин, М.А. Корионов // Вестник Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова. – 2015. – № 2. – С. 48–53.
4. Определение остаточных напряжений в элементах конструкций на основе применений электронной спекл-интерферометрии и метода конечных элементов / Л.М. Лобанов, В.А. Пивторак, В.В. Савицкий, Г.И. Ткачук // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2006. – № 4. – С. 15–19.
5. Биргер И.А. Остаточные напряжения. – М.: Машгиз, 1963. – 232 с.
6. Биргер И.А. Проблемы остаточных напряжений в элементах конструкций // Остаточные напряжения и методы их регулирования: тр. всесоюз. симпоз. – М: Изд-во Ин-та прикладной математики АН СССР, 1982. – С. 5–17.
7. Давиденков Н.Н. Рентгенография в применении к исследованию материалов / под общ. ред. проф. Г. Курдюмова. – М.; Л.: ОНТИ, 1936. – 248 с.

8. Иванов С.И. Определение остаточных напряжений в поверхностном слое цилиндра // Вопросы прочности элементов авиационных конструкций / Куйбышев. авиац. ин-т. – Куйбышев, 1971. – Вып. 48. – С. 153–168.
9. Иванов С.И. Определение остаточных напряжений: дис. ... д-ра техн. наук. – Куйбышев, 1972. – 308 с.
10. Иванов С.И., Григорьева И.В. Метод сегментных срезов для определения остаточных касательных напряжений в сплошных цилиндрах // Заводская лаборатория. – 1977. – Т. 43, № 41. – С. 491–492.
11. Улыбин А.В. Контроль напряженно-деформированного состояния элементов стальных конструкций с помощью резистивного электроконтактного метода // Инженерно-строительный журнал. – 2010. – № 7. – С. 21–24.
12. Колодочкина Е.В., Поликарпова К.Н. Оценка возможности исправления дефектов преднапряженного состояния путем механической обработки с целью получения заданных остаточных напряжений в деталях из титановых сплавов // Аэрокосмическая техника, высокие технологии и инновации: материалы XVII Всерос. науч.-техн. конф. – Пермь, 2016. – Т. 1. – С. 162–166.

References

1. Karmanov V.V., Trofimov V.N., Nurtdinov A.S., Zvonov S.N. Opyt primeneniya robotizirovannogo kompleksa XSTRESS dlya izmereniya tekhnologicheskikh ostatochnykh napryazheniy [Ringing experience in the application of complex robotic XSTRESS for the measurement of technological residual stress]. Bulletin of Magnitogorsk state technical University. Nosova G.I., 2015, no. 1 (49), pp. 55-59.
2. Trofimov V.N., Karmanov V.V., Panin Yu.V., Bacheva A.V. Vliyanie rezhimov mekhanicheskoy obrabotki stali 09G2S na formirovanie ostatochnykh napryazheniy [Influence of modes of mechanical processing of steel 09G2S on the formation of residual stress]. Vestnik MSTU named after G.I. Nosov, 2015, no. 3, pp. 48-53.
3. Trofimov V.N., Karmanov V.V., Panin Yu.V., Korionov M.A. Opredelenie ostatochnykh napryazheniy pri odnoosnoy plasticheskoy deformatsii tsilindricheskogo sterzhnya [Determination of residual stresses under uniaxial plastic deformation of a cylindrical rod]. Vestnik MGTU im. G.I. Nosov, 2015, no. 2, pp. 48-53.
4. Lobanov L.M., Pivtorak V.A., Savitskiy V.V., Tkachuk G.I. Opredelenie ostatochnykh napryazheniy v elementakh konstruktсий na osnove primeneniya elektronnoy spekl-interferometrii i metoda konechnykh elementov [Determination of residual stresses in elements of structures based on applications of the electronic speckle interferometry and the finite element method]. Technical diagnostics and nondestructive testing, 2006, no. 4, pp. 15-19.
5. Birger I.A. Ostatochnye napryazheniya [Residual stresses]. Moscow: Mashgiz. 1963, 232 p.
6. Birger I.A. Problemy ostatochnykh napryazheniy v elementakh konstruktсий [Problems of residual stresses in structural elements] Residual stresses and methods of regulation: Transactions of all-Union Symposium, Moscow: IPM an SSSR, 1982, pp. 5-17.
7. Davidenkov N.N. Rentgenografiya v primeneniі k issledovaniyu materialov [Radiography applied to the study of materials]. Moscow: Izd. ONTI, 1936, 248 p.
8. Ivanov S.I. Opredelenie ostatochnykh napryazheniy v poverkhnostnom sloe tsilindra. *Voprosy prochnosti elementov aviatsionnykh konstruktсий* [Determination of residual stresses in the surface layer of the cylinder / problems of strength of elements of aircraft structures]. Kuibyshev: KuAI, 1971, vol. 48, pp. 153-168.
9. Ivanov S.I. Opredelenie ostatochnykh napryazheniy: Doctor's degree dissertation [Determination of residual stresses: Dissertation]. CPTI. Kuibyshev, 1972, 308 p.
10. Ivanov S.I., Grigoreva I.V. Metod segmentnykh srezov dlya opredeleniya ostatochnykh kasatelnykh napryazheniy v sploshnykh tsilindrakh [The method of the segmented sections to determine the residual stresses in solid cylinders]. *Zavodskaya laboratoriya*. 1977, vol. 43, no. 41, pp. 491-492.
11. Ulybin A.V. Kontrol napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya elementov stalnykh konstruktсий s pomoshchyu rezistivnogo elektrokontaktnogo metoda [Control stress-strain state of steel structures using resistive electrocontact method]. *Inzhenerno-stroitelnyy zhurnal*, 2010, no. 7.
12. Kolodochkina E.V., Polikarpova K.N. Otsenka vozmozhnosti ispravleniya defektov prednapryazhennogo sostoyaniya putem mekhanicheskoy obrabotki s tselyu polucheniya zadannykh ostatochnykh napryazheniy v detalyakh iz titanovykh splavov [Evaluation of the possibility of correcting defects prestressed state by mechanical processing to obtain the desired residual stresses in parts made of titanium alloys]. *Materialy XVII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Aerokosmicheskaya tekhnika, vysokie tekhnologii i innovatsii"*. Perm, 2016, pp. 162-166.

Об авторах

Туктамышев Виталий Рафаилович (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: tuktvr@gmail.com).

Колодочкина Екатерина Викторовна (Пермь, Россия) – студентка ФГБОУ ВО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: katekolodochkina@rambler.ru).

Поликарпова Кристина Николаевна (Пермь, Россия) – студентка ФГБОУ ВО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29, e-mail: mail_poli@mail.ru).

Нуртдинов Антон Сергеевич (Пермь, Россия) – заведующий лабораторией кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО ПНИПУ (614990, г. Пермь, Комсомольский пр., д. 29).

About the authors

Vitaly R. Tuktamyshev (Perm, Russian Federation) – Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor, Innovation Engineering Technologies Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: tuktvr@gmail.com).

Ekaterina V. Kolodochkina (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: katekolodochkina@rambler.ru).

Kristina N. Polikarpova (Perm, Russian Federation) – Student, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation, e-mail: mail_poli@mail.ru).

Anton S. Nurtdinov (Perm, Russian Federation) – Head of Laboratory, Innovative Engineering Technology Department, Perm National Research Polytechnic University (29, Komsomolsky av., Perm, 614990, Russian Federation).

Получено 28.07.2017