

УДК 621.791.9 + 621.785.5

Исследования плазменной закалки в Нижнетагильском филиале Уральского федерального университета


В.А. Коротков

Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, 622000, Нижний Тагил, Российская Федерация, Красногвардейская ул., д. 59

Study of Plasma Hardening at Nizhny Tagil Branch of Ural Federal University

V.A. Korotkov

Nizhny Tagil Technological Institute, Branch of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, 622000, Nizhny Tagil, Russian Federation, Krasnogvardeiskaya St., Bldg. 59

 e-mail: vk@udgz.ru

i Представлены разработки Нижнетагильского филиала Уральского федерального университета в области плазменной закалки, внедренные в производство и продолжающие развиваться с расширением сферы применения. Описаны исследования по закалке дугой обратной полярности, выполненные в последние годы, и применение первой серийной специализированной установки для плазменной закалки УДГЗ-200, что позволило расширить объемы плазменной закалки в промышленности и проводить упрочнение поверхностей, которые ранее не упрочнялись или упрочнялись недостаточно (например, рабочие поверхности зубчатых и шлицевых соединений, крановых колес и рельсов, формовочных и вырубных штампов, корпусов и станин оборудования).

Ключевые слова: поверхностная закалка, плазменная дуга, износостойкость.

i A The advanced technologies developed by Nizhny Tagil Branch of Ural Federal University in the plasma hardening field have been successfully implemented in manufacturing and continue to be used with a wider sphere of application. The studies of hardening by plasma arch of opposite polarity conducted in the last decade, and the development of the first serial specialized machine UDGZ-200 for plasma hardening, have contributed to the wide use of the process in manufacturing. The increase in application has been due to the inclusion of the surfaces that previously were not, or were insufficiently hardened, for example, working surfaces of toothed and spline couplings, crane wheels and tracks, moulded and blank dies, cases and frames of machine tools.

Keywords: surface hardening, plasma arch, durability.

Под плазменной закалкой понимают поверхностную закалку деталей с нагревом плазменной дугой. Плазменная дуга появилась в результате обжата газовым потоком аргоновой дуги, горячей от вольфрамового электрода. В некоторой мере это случилось непроизвольно. В середине XX в., чтобы улучшить качество

наплавленного газовым пламенем рабочего слоя на запорной арматуре нефтехимического оборудования, в США применили наплавку в аргоне вольфрамовым электродом. Как присадочный материал использовали кобальтовые литые прутки. Для ускорения наплавки пытались ее автоматизировать, используя непре-

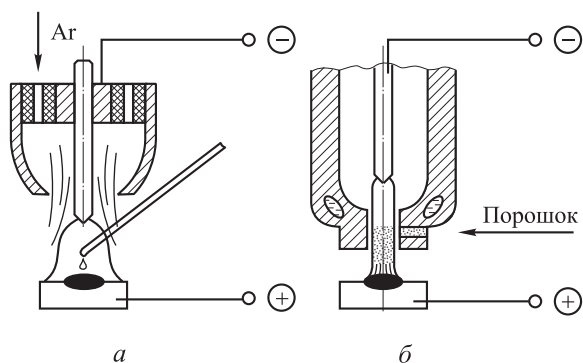


Рис. 1. Схема наплавки:

а — ручная аргоновой дугой; б — автоматическая плазменной дугой

рывную подачу присадочного материала в дугу, однако получить проволоку из коротких кобальтовых литых прутков оказалось невозможным вследствие их малой пластичности. Тогда было решено измельчить прутки в порошок и вдуть его в дугу. Но длительной наплавки опять не получилось — порошок попадал на кончик вольфрамового электрода и тот быстро выходил из строя. Чтобы этого избежать, кончик электрода поместили внутрь сопла и одновременно уменьшили сопловой диаметр. Дуга при этом изменила форму, превратившись из конической в цилиндрическую. Первоначально ее называли обжатой, а затем, когда выяснили, что ее температура выше, чем температура обычной дуги, стали называть плазменной (рис. 1). Помимо наплавки плазменную дугу стали применять для резки и напыления. В последнем случае второй электрический провод от источника тока подводится не к детали, а к соплу, соответственно плазменную дугу стали называть плазменной струей.

Появление в СССР промышленных плазменных установок для резки и напыления побуждало исследователей к их модернизации и применению для поверхностной закалки. В Нижнетагильском филиале Уральского политехнического института (ныне — Уральского федерального университета) первые исследования по плазменной закалке проводились в середине 1970-х годов на серийной установке УПУ-3Д для плазменного напыления, оснащенной плазмотроном с плазменной струей. Вследствие большого градиента температуры в ней даже малое изменение расстояния до детали существенно влияло на качество закалки. Поверхностная закалка плазменной струей в целом похожа на закалку газовым пламенем, но отличается опасным для жизни высоким

напряжением 270 В. В связи с этим было решено перейти к исследованию закалки плазменной дугой, горячей между электродом плазмотрона и поверхностью детали. Но плазменная струя все же была применена для поверхностной закалки: в работе [1] описана закалка с ее помощью прокатных валков, в работе [2] гребней железнодорожных колес.

Плазменная закалка дугой прямой полярности. Дуга обратной полярности (положительный потенциал на электроде) активно разрушает вольфрамовый электрод, поэтому распространение получила плазменная дуга прямой полярности (положительный потенциал на детали). В середине 1980-х годов в СССР были опубликованы результаты поверхностной закалки мелких деталей угольного комбайна с применением серийной микроплазменной установки МПУ-4 [3]. Одновременно в Нижнетагильском филиале Уральского политехнического института велись работы по адаптации к плазменной закалке более мощных серийных плазменных установок УПС-501 (для сварки) и АПР-404 (для резки), что позволило увеличить производительность и приступить к закалке крупных деталей металлургического оборудования.

Для закалки плазменную дугу (рис. 2) перемещают по поверхности детали, добиваясь нагрева до необходимой температуры (≥ 800 °С). На поверхности остается полоса шириной около 15 мм, покрытая оксидными пленками, которые изменяют цвет поверхности (рис. 3, а). При этом только средняя часть полосы шириной около 10 мм, нагреваемая до температуры более 800 °С, становится закаленной (ее твердость увеличивается). Поперечное сечение закаленной полосы имеет вид сегмента (рис. 3, б) высотой около 1,5 мм. Для закалки больших поверхностей зака-

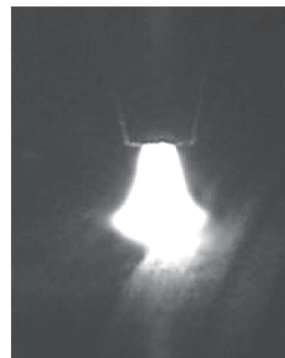


Рис. 2. Плазменная дуга

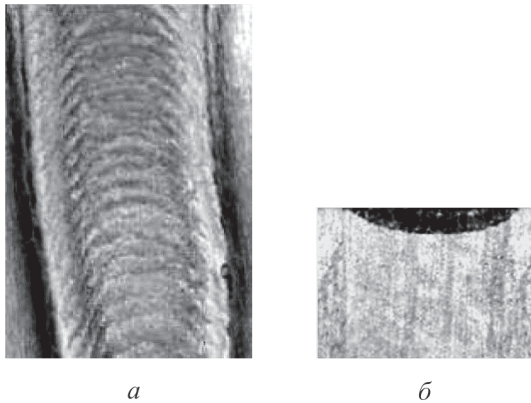


Рис. 3. Закаленная полоса (а) и ее поперечное сечение (б)

ленные полосы наносят с некоторым перекрытием. Твердость закаленных полос обычно соответствует твердости, получаемой при обычной закалке с нагревом в печах или токами высокой частоты (ТВЧ). Если не допускать при закалке оплавления поверхности, то оксидные пленки пренебрежимо мало изменяют шероховатость $Rz = 10...60$, поэтому многие детали после закалки могут быть переданы в эксплуатацию без финишной шлифовки, что снижает себестоимость их изготовления.

В середине 1980-х годов на Нижнетагильском металлургическом комбинате вместо рельсов марки Р50 выпускали более тяжелые рельсы Р65. Нагрузки на бандажи роликов машин для правки рельсов возросли, их стойкость снизилась, увеличились ремонтные простои, отрицательно сказавшиеся на выработке одного из наиболее важных цехов комбината. Предпринимались попытки увеличить твердость бандажей объемной, газовой закалкой и закалкой ТВЧ. Успех не был достигнут, так как при объемной закалке бандажи преждевременно разрушались по шпоночному пазу, а при закалке ТВЧ и газовым пламенем наблюдались отколы закаленного слоя. Не помогло и применение новых марок сталей. Несмотря на то что плазменная закалка в то время была неизвестна, приняли решение опробовать ее на модернизированной установке УПС-501. В результате стойкость бандажей с плазменной закалкой (рис. 4) увеличилась в 2–4 раза [4]. Эта технология была применена к валкам горячей прокатки [5] и продолжает использоваться в настоящее время.

Другой задачей была закалка роликов рольганга, по которым закаленные рельсы сдвигались на соседний рольганг. Новые ролики, за-

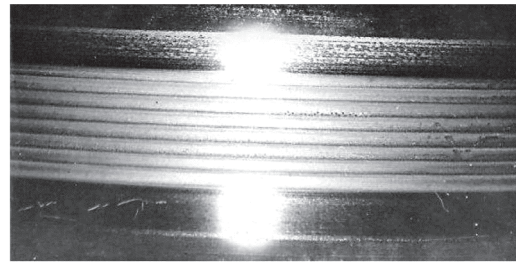


Рис. 4. Рабочая поверхность бандажа правильной машины с плазменной закалкой

каленные ТВЧ без термического упрочнения, служили пять лет, восстановленные наплавкой — один год. На токарный станок, где обрабатывались наплавленные ролики, поместили модернизированный плазмотрон установки АПР-404, в результате закалки срок службы наплавленных роликов увеличился и стал сопоставим со сроком эксплуатации роликов, закаленных ТВЧ [6].

Хотя плазменная закалка без оплавления позволяет отказаться от финишной шлифовки и снизить себестоимость изготовления деталей, этот процесс протекает в узком диапазоне оптимальных значений тока, скорости перемещения и длины дуги, что затрудняет его поддержание. Чтобы закалка без оплавления поверхности меньше зависела от точности настройки режима, разработаны способ сканирования дуги магнитным полем [7, 8] и двухдуговой плазмотрон [9]. Но усложнение конструкций плазмообразующих устройств означает лишь замену одной проблемы другими.

Плазменная закалка дугой обратной полярности. При плазменной закалке поверхности оплавляются по центру закаленных полос, что вызвано излишне высокой концентрацией тепловой энергии в центральной части дуги. Дуга обратной полярности в отличие от дуги прямой полярности имеет не конусную, а близкую к цилиндрической форму, это позволяло предположить и более равномерное распределение энергии в ее поперечном сечении.

Исследования показали [10], что при закалке на обратной полярности влияние отклонений режима на глубину и твердость закаленного слоя менее существенно, чем при закалке на прямой полярности. Вследствие этого стала возможна ручная закалка без оплавления поверхности (при неизбежных в этом случае колебаниях скорости перемещения и длины ду-

ги), в то время как закалка на прямой полярности осуществляется только на автоматических установках, когда имеется возможность точно поддерживать перечисленные параметры. На этой основе создана первая специализированная установка плазменной закалки УДГЗ-200 [11], налажен ее мелкосерийный выпуск. Установка реализована на 63 предприятиях России, Украины, Казахстана, Азербайджана, Киргизии.

В век роботов и безлюдных производств разработка ручной технологии могла оказаться невостребованной, но этого не произошло. Ручные технологии благодаря универсальности демонстрируют живучесть; в мире бóльшая доля сварочных работ (около 80 %) выполняется электродами или полуавтоматами, т. е. вручную. С разработкой способа ручной плазменной закалки дугой обратной полярности и соответствующей установки УДГЗ-200 (рис. 5) объемы применения закалки возросли, поскольку ее стали применять для деталей, штампов, корпусных частей машин, которые ранее по тем или иным причинам использовались в незакаленном состоянии.

Применение установки УДГЗ-200. Закалка с помощью установки УДГЗ-200 многократно увеличивает износостойкость сталей и чугунов [12], продлевает срок службы деталей различного назначения.

Плазменная дуга разогревает небольшое движущееся пятно на поверхности детали, скорости охлаждения в нем достаточно вели-

ки, чтобы закалка происходила только при отводе тепла в тело детали (исключение составляют мелкие изделия), без сопутствующего охлаждения водой [13, 14]. По этой же причине плазменная закалка не создает больших остаточных напряжений, вызывающих трещины, что позволяет не производить отпуск закаленных деталей и не закачивать впадины между зубьями в зубчатых соединениях [15]. Плазменная закалка установкой УДГЗ-200 может применяться не только в специально оборудованных термических цехах, но и в местах механической обработки и сборки деталей (в том числе под открытым небом), что упрощает организацию работ и логистические операции в технологических процессах. С учетом того что при плазменной закалке с помощью установки УДГЗ-200 вид поверхности не искажается, технология изготовления многих деталей может сократиться до двух этапов: чистовая механическая обработка и плазменная закалка.

Установка УДГЗ-200 позволяет упрочнять рабочие поверхности крановых рельсов, надрессорных балок грузовых вагонов, канатных барабанов, конусов дробилок мелкого и среднего дробления, а также иных массивных деталей [16, 17].

Срок службы многих штампов (вырубных, формовочных) из сталей и чугунов существенно увеличивается в результате применения плазменной закалки, причем она может выполняться как в дополнение к объемной закалке, так и вместо нее [18, 19]; в последнем случае технологический процесс изготовления штампов существенно сокращается.

Выводы

1. Сотрудники Нижнетагильского филиала Уральского федерального университета внесли заметный вклад в развитие технологии поверхностной плазменной закалки. Ими адаптированы для плазменной закалки и внедрены на металлургических предприятиях серийные плазменные установки, применяемые для сварки и резки.

2. Разработка способа закалки дугой обратной полярности позволила стабилизировать качество закаленного слоя, возможность ручного ведения закалки существенно расширила область ее применения. Налажен серийный выпуск первой специализированной установ-



Рис. 5. Ручная закалка зубчатого колеса с помощью установки УДГЗ-200

ки плазменной закалки УДГЗ-200, реализованной на 63 отечественных и зарубежных предприятиях и позволившей многократно повысить износостойкость сталей (углеродистых, легированных, штамповых, коррозионно-стойких) и чугунов.

Литература

- [1] Лещинский Л.К., Самоутугин С.С., Пирч И.И., Комар В.И. *Плазменное поверхностное упрочнение*. Киев, Техника, 1990. 109 с.
- [2] Петров В.С., Сааков А.Г. *Плазма продуктов сгорания в инженерии поверхности*. Киев, ТОПАС, 2000. 220 с.
- [3] Кобяков О.С., Гринзбург Е.Г. Использование микроплазменного нагрева в процессах упрочняющей технологии. *Автоматическая сварка*, 1985, № 5, с. 65–67.
- [4] Коротков В.А., Бердников А.А., Толстов И.А. *Восстановление и упрочнение деталей и инструмента плазменными технологиями*. Челябинск, Металл, 1993. 144 с.
- [5] Бердников А.А., Демин В.С., Серебрякова Е.Л., Чадин Л.В., Бирюков А.С. Упрочнение чугунных валков методом плазменной закалки. *Сталь*, 1995, № 1, с. 56–59.
- [6] Коротков В.А., Баскаков Л.В., Толстов И.А., Бердников А.А. Восстановление и упрочнение роликов рольгангов. *Сварочное производство*, 1991, № 3, с. 31–33.
- [7] Коротков В.А., Трошин О.В., Бердников А.А. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления поверхности. *Физика и химия обработки материалов*, 1995, № 2, с. 101–106.
- [8] Бердников А.А., Безносков Д.В., Бердников А.А. *Плазмотрон для плазменной закалки*. Патент РФ № 95215. 2010.
- [9] Сафонов Е.Н., Демин В.С., Дружинин И.С., Чадин Л.В. *Устройство плазменной закалки изделий из стали и чугуна в автоматическом и ручном режиме двухдуговым плазмотроном*. Патент РФ № 95665. 2010.
- [10] Шекуров А.В., Коротков В.А. Влияние полярности дуги на глубину и твердость слоя плазменной закалки стали 40. *Сварочное производство*, 2008, № 7, с. 32–34.
- [11] Коротков В.А., Макаров С.В. Новая установка УДГЗ-200 для упрочняющей обработки. *Металлообработка*, 2009, № 5, с. 43–46.
- [12] Коротков В.А. Износостойкость материалов с плазменной закалкой. *Трение и износ*, 2011, т. 32, № 1, с. 23–29.
- [13] Коротков В.А., Ананьев С.П., Шекуров А.В. Исследование влияния скорости охлаждения на качество поверхностного слоя при плазменной закалке. *Сварочное производство*, 2012, № 3, с. 23–27.
- [14] Коротков В.А., Ананьев С.П., Шекуров А.В. Исследование влияния скорости охлаждения на структуру и механические свойства металла при плазменной закалке. *Сварочное производство*, 2013, № 2, с. 26–29.
- [15] Коротков В.А. Плазменная закалка зубчатых и шлицевых соединений. *Вестник машиностроения*, 2009, № 8, с. 87–89.
- [16] Шур В.Я., Коротков В.А., Шишкина Е.В. Исследование изменения поверхностного слоя стали 20ГЛ при плазменной закалке. *Вопросы материаловедения*, 2013, № 3, с. 15–20.
- [17] Липатов А.Г., Веснин А.М., Коротков В.А. Реновационные работы на Качканарском ГОКе. *Ремонт, восстановление, модернизация*, 2015, № 2, с. 3–7.
- [18] Коротков В.А., Михайлов И.Д., Агафонов Э.Ж. Повышение стойкости штампов плазменной закалкой. *Кузнечно-штамповое производство. Обработка материалов давлением*, 2009, № 1, с. 40–45.
- [19] Коротков В.А., Злоказов М.В. Исследование износостойкости штамповых сталей, прошедших упрочнение плазменной закалкой. *Вестник машиностроения*, 2014, № 8, с. 59–61.

References

- [1] Leshchinskii L.K., Samotugin S.S., Pirch I.I., Komar V.I. *Plazmennoe poverkhnostnoe uprochnenie* [Plasma surface hardening]. Kiev, Tekhnika publ., 1990. 109 p.

- [2] Petrov V.S., Saakov A.G. *Plazma produktov sgoraniia v inzhenerii poverkhnosti* [Plasma combustion in surface engineering]. Kiev, TOPAS publ., 2000. 220 p.
- [3] Kobiakov O.S., Grinzburg E.G. Ispol'zovanie mikroplazmennogo nagreva v protsessakh uprochniiaushchei tekhnologii [Using micro plasma heating in the hardening process technology]. *Avtomaticheskaia svarka* [The Paton Welding Journal]. 1985, no. 5, pp. 65–67.
- [4] Korotkov V.A., Berdnikov A.A., Tolstov I.A. *Vosstanovlenie i uprochnenie detalei i instrumenta plazmennymi tekhnologiami* [Restoration and hardening of details and tools of plasma technology]. Cheliabinsk, Metall publ., 1993. 144 p.
- [5] Berdnikov A.A., Demin V.S., Serebriakova E.L., Chadin L.V., Biriukov A.S. Uprochnenie chugunnykh valkov metodom plazmennoi zakalki [Hardening of cast iron roll by plasma hardening]. *Stal'* [Steel in Translation]. 1995, no. 1, pp. 56–59.
- [6] Korotkov V.A., Baskakov L.V., Tolstov I.A., Berdnikov A.A. *Vosstanovlenie i uprochnenie rolikov rol'gangov* [Restoration and hardening of the rollers rolling tables]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 1991, no. 3, pp. 31–33.
- [7] Korotkov V.A., Troshin O.V., Berdnikov A.A. *Plazmennaiia zakalka skaniruemoi dugoi bez oplavleniia poverkhnosti* [Scanning arc plasma quenching without surface melting off]. *Fizika i khimiia obrabotki materialov* [Physics and Chemistry of Materials Treatment]. 1995, no. 2, pp. 106–111.
- [8] Berdnikov A.A., Beznoskov D.V., Berdnikov A.A. *Plazmotron dlia plazmennoi zakalki* [Plasma torch for plasma hardening]. Patent RF no. 95215. 2010.
- [9] Safonov E.N., Demin V.S., Druzhinin I.S., Chadin L.V. *Ustroistvo plazmennoi zakalki izdelii iz stali i chuguna v avtomaticheskoi i ruchnoi rezhime dvukhdugovym plazmotronom* [Plasma hardening of steel and cast iron in automatic or manual mode, dual-arc plasma torch]. Patent RF no. 95665. 2010.
- [10] Shekurov A.V., Korotkov V.A. *Vliianie poliarnosti dugi na glubinu i tverdst' sloia plazmennoi zakalki stali 40* [Impact of polar arc on the depth and layer hardness plasma hardening Steel 40]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 2008, no. 7, pp. 32–34.
- [11] Korotkov V.A., Makarov S.V. *Ustanovka dlia ruchnoi poverkhnostnoi zakalki plazmennoi dugoi* [Installation for manual surface hardening]. *Metalloobrabotka* [Metalworking]. 2009, no. 5, pp. 43–46.
- [12] Korotkov V.A. *Wear resistance of plasma-hardened materials*. *Journal of Friction and Wear*, 2011, vol. 32, no. 1, pp. 17–22.
- [13] Korotkov V.A., Anan'ev S.P., Shekurov A.V. *Issledovanie vliianiia skorosti okhlazhdeniia na kachestvo poverkhnostnogo sloia pri plazmennoi zakalke* [Study Effect of cooling rate on the Quality of the surface layer during plasma hardening]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 2012, no. 3, pp. 23–27.
- [14] Korotkov V.A., Anan'ev S.P., Shekurov A.V. *Issledovanie vliianiia skorosti okhlazhdeniia na strukturu i mekhanicheskie svoistva metalla pri plazmennoi zakalke* [Investigation of the effect of cooling rate on the structure and mechanical properties of the metal in the plasma quenching]. *Svarochnoe proizvodstvo* [Welding International]. 2013, no. 2, pp. 26–29.
- [15] Korotkov V.A. *Plazmennaiia zakalka zubchatykh i shlitsevykh soedinenii* [Plasma hardening of toothed and spline joints]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 2009, no. 8, pp. 87–89.
- [16] Shur V.Ia., Korotkov V.A., Shishkina E.V. *Issledovanie izmeneniia poverkhnostnogo sloia stali 20GL pri plazmennoi zakalke* [Study of steel 20GL surface layer changes in plasma hardening]. *Voprosy materialovedeniia* [Inorganic Materials: Applied Research]. 2013, no. 3, pp. 15–20.
- [17] Lipatov A.G., Vesnin A.M., Korotkov V.A. *Renovatsionnye raboty na Kachkanarskom GOKe* [Renovation works at Kachkanarskiy GOK]. *Remont, vosstanovlenie, modernizatsiia* [Repair, Reconditioning, Modernization]. 2015, no. 2, pp. 3–7.
- [18] Korotkov V.A., Mikhailov I.D., Agafonov E.Zh. *Povyshenie stoikosti shtampov plazmennoi zakalkoi* [Improvement of Die Life by Plasma Quenching]. *Kuznechno-shtampovoe proizvodstvo. Obrabotka materialov davleniem* [Forging and stamping production. Materials handling pressure]. 2009, no. 1, pp. 40–45.

- [19] Korotkov V.A., Zlokazov M.V. Issledovanie iznosostoikosti shtampovykh stali, proshedshikh uprochnenie plazmennoi zakalkoi [Research of wear resistance of die steels after plasma quenching]. *Vestnik mashinostroeniia* [Russian Engineering Research]. 2014, no. 8, pp. 59–61.

Статья поступила в редакцию 31.08.2015

Информация об авторе

КОРОТКОВ Владимир Александрович (Нижний Тагил) — профессор кафедры «Сварочное производство и упрочняющие технологии». Нижнетагильский технологический институт (филиал) Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (622000, Нижний Тагил, Российская Федерация, Красногвардейская ул., д. 59, e-mail: vk@udgz.ru).

Information about the author

KOROTKOV Vladimir Alexandrovich (Nizhny Tagil) — Professor, Department of Welding Manufacturing and Hardening Technologies. Nizhny Tagil Technological Institute, Branch of Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin (622000, Nizhny Tagil, Russian Federation, Krasnogvardeiskaya St., Bldg. 59, email: vk@udgz.ru).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышло в свет учебное пособие
Н.Г. Назарова

«Методы экспериментальной оценки качества партии изделий с учетом степени риска»

Рассмотрены три вида экспериментальной оценки качества партий однородных изделий: сплошной контроль, контроль с использованием случайной однократной выборки и случайной последовательной выборки. Для всех видов оценки качества партий дан анализ затрат производителя партии, а также доходов и потерь потребителя. Обоснованы условия, при реализации которых производителю целесообразно отказаться от оценки качества партии и выплатить потребителю компенсацию за дефектные изделия.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru