

# ОЦЕНЯВАНЕ НА КАЧЕСТВОТО НА ЗЪБНИ КОЛЕЛА ОТ КОЛООСНИ РЕДУКТОРИ

## EVALUATION OF GEARS QUALITY IN TRACTIVE REDUCERS ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЗУБЧАТЫХ КОЛЕСА ТЯГОВЫХ ПЕРЕДАЧИ

Доц. д-р инж. Динев Г.<sup>1</sup>  
Технически университет-София, България  
E-mail: [gdinev@tu-sofia.bg](mailto:gdinev@tu-sofia.bg)

Гл. ас. инж. Джаджев В.<sup>2</sup>  
Русенски университет-Русе, България  
E-mail: [vdjadjev@ru.acad.bg](mailto:vdjadjev@ru.acad.bg)

**Резюме:** В статията се прави анализ на традиционните подходи и методи за оценяване на качеството на зъбни коелела при производството им. На базата на експериментални данни са анализирани някои срещани дефекти получени от механичната или химикотермичната им обработка. В резултат на това са обосновани количеството контролни параметри. Избран е стандартен план за провеждане на входящ контрол на заготовките за зъбни коелела и изходящ контрол на готовата продукция. Разработена е методика за оценяване на качеството на партиди от зъбни коелела за колоосни редуктори. Доказано е, че с прилагането на подходящи методи за подобряване на геометрията и механичните показатели на зъбните коелела се осигурява високо качество на произвежданата продукция.

**КЛЮЧОВИ ДУМИ:** КАЧЕСТВО, ЗЪБНИ КЛЕЛА, КОНТРОЛ, ВХОДЯЩ, ИЗХОДЯЩ, ПАРАМЕТРИ, ЕКСПЕРИМЕНТАЛНО, МЕТОДИКА, ПОДОБРЯВАНЕ, ПРОИЗВОДСТВО, ПРОДУКЦИЯ.

**Abstract:** In this paper is made the analysis of traditional approach and methods for evaluation of quality of gears at their manufacturing. On the base of experimental date are analyzed some of investigated defects which are results from machining or thermo treatment of gears. This results allow to be grounded quality control parameters. The standard plane for make of input control of forging and output control the manufacturing production. Methodic for evaluation of quality of suitable gears for tractive reducer is developed. It is proved, that whit the application of suitable methods for improvement of geometric and mechanical indexes of gears is ensured higher production quality. This results are necessary for development the control quality system of manufacturing production..

**KEY WORDS:** QUALITY, GEARS, CONTROL, INPUT, OUTPUT, PARAMETERS, EXPERIMENTAL, METHODIC, IMPROVEMENT, MANUFACTURING, PRODUCTION.

### 1. Въведение

За повишаване на качеството при производството на зъбни коелела все по-голямо приложение намират системите за управление на качеството, създадени съгласно изискванията на ISO 9000. С внедряването им се гарантира съответствие на продукта и клиента е убеден, че са спазени изискванията на машинната директива на Европейския съюз. Въпреки това в оценката на качеството съществува и субетивен елемент, поради нарастващите изисквания на потребителите и понятията рентабилност и конкурентоспособност [ 15 ]. От даденото в [ 5 ] количествената оценка за качеството може да се определи посредством коефициенти на тежест, като се използва стойностния анализ, основаващ се на продължително проучване на аналогични продукти. Ако се разглежда обаче рентабилността на даден продукт от гледна точка на удовлетвореност между потребител-производител се открояват следните три индикатора: количеството-N, цената- C и качеството- AQL .

За оценяване качеството на потребителските характеристики на конкуриращи се продукти т.е маркетинга в [ 6,15 ] се определя техния индекс, който може да варира от 0 до 1. Доказано е, че съществува аналогия между приемателната крива и индекса на продукта.

При управление на качеството на продуктите може да се използват както функционални така и процесен подход [ 9 ]. За обосноваване на система за контрол на цилиндрични зъбни коелела и техните показатели в [ 7 ] се предлага процесен подход, осигуряващ входящ и изходящ приемателен контрол на качеството на произвежданите партиди зъбни коелела. В [ 12 ] се разглежда използването на технологичен контрол при производството на зъбни коелела. Един от основните принципи за разработване на методика за контрол се свежда до извършване на приемателен входящ контрол на качеството на

заготовките и приемателен изходящ контрол на произведените партиди зъбни коелела.

От проведените до сега изследвания, свързани с работоспособността на зъбните коелела от колоосни редуктори [ 1,4 ] и методите за тяхното подобряване [ 2 ] се установи, че проблемът за качеството им е актуален за индустрията.

Целта на настоящата работа е да се обосновават количеството показатели и контролни параметри за оценяване на качеството на произвеждани зъбни коелела за колоосни редуктори и методика за провеждането на входящ и изходящ контрол осигуряващи конкурентоспособност на продукцията.

### 2. Обосноваване на показатели за качеството на зъбни коелела

Показателите за качеството на зъбните коелела попадат в групата на измеримите функционални показатели. Техните стойности се разсейват между горната  $T_{Г}$  и долната  $T_{Д}$  допустими граници. Поради това за показатели с две допускови граници желаната стойност е средната стойност  $T_{м}$  на допусковата зона. Тогава допусковата зона се разделя на три интервала в резултат на което се определя индексът на качеството  $K$ , според това къде попада измерената средна стойност както се препоръчва в подхода даден в [ 6 ]. Индексът 1 съответства на най-високо качество на продукта, т.е. това е качеството на “зъбно колело-еталон”.

Ако се приеме, че искаме да получаваме 100 процентова продукция по даден показател без дефекти, тогава словесния отговор “ не ми харесва “ трябва да бъде 0 т.е рискът за неприемане на продукцията  $\beta=0\%$ . Другият словесен отговор “безразличие” следва да бъде 0,5 основаващ се на принципа разделяне на риска между доставчик и клиент на 50%. За третия отговор “харесва ми” може да се достигне до 1, но грешката при така определения индекс зависи от проведената анкета, поради което този показател може да се приеме с

доверителна вероятност 0,95. От друга страна ако планът за приемателен контрол не е непрекъснат пропуснатите дефекти ще оказват силно влияние върху индекса на качеството.

За изясняване на проблема с избирането на риска за приемането и отхвърлянето на продукцията при 100 %-ов приемателен контрол на произведени партии от 20-30 броя зъбни колела нека да изясниме условията на приемателна крива дадена в [ 6 ].

Ако се тръгне от системата LQ , която защитава интересите на клиента се достига до избиране на стандартен план за контрол в системата ALQ. В изходната приемателна крива за партии от 20-30 броя зъбни колела стандартния риск да се върне партидата е от порядъка на  $\beta=0,02$ . Мотивите за избирането на този план са, че желанието на клиента е да няма в извадката ( партидата ) дефектни зъбни колела. От друга гледна точка партидите на произвежданите зъбни колела са малки по обем, но контролът е прецизен и трудоемък. Така, че този план може да се използва при извадков контрол, но за предпочитане е да се приеме 100%-ов приемателен контрол на произведената продукция.

За обосноваване на показатели при производството на зъбни колела от колоосни редуктори е целесъобразно да се тръгне от собствени изследвания които са дадени в [ 2 ] , свързани с методи за подобряване на геометрията им. Също така за подобряване на показателите на зъбните колела са разработени фирмени технически спецификации за определяне на механичните показатели и доставка на стомана. Те са дадени в [ 3 ] и са свързани с осигуряването на входящ контрол на доставяните заготовки за изработването на зъбни колела.

В посочените нормативни документи се съдържат механичните показатели якост на умора и контактна умора, а доставените заготовки да се проверяват по 12 показателя. Тези показатели, които е необходимо да се контролират при изходящия контрол на произвежданите партии зъбни колела са обосновани на базата на изискванията дадени в БДС 3296-79 и други нормативни документи са следните:

- широчина на зъбния венец,  $b_w$  ;
- диаметър на върховата окръжност,  $d_a$  ;
- дължина на общата нормала,  $W_0$  ;
- допуск на грешката на направлението на зъба,  $F_{\beta}$  ;
- допуск за колебанието на дължината на общата нормала,  $F_{vw}$  ;
- допуск на радиалното биене,  $F_r$  ;
- дълбочина на закаления слой;
- челно биене;
- марка на стоманата за изковката.

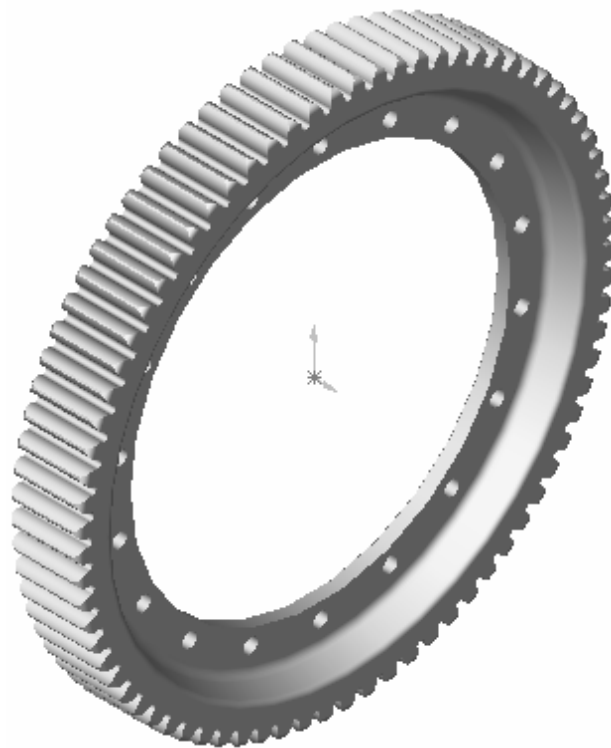
За извършване на входящ контрол на доставените заготовки от стомана горещо валцована 41Cr4 БДС EN 10083/1:2000 е целесъобразно да се използват показателите обосновани чрез разработените технически изисквания дадени в [ 3 ] , които се отнасят основно до следното:

- химически състав, размери и отклонения в заготовката;
- състояние на доставка - изковка от група VKЯ450;
- повърхностни дефекти: драскотини, следи от абразив;
- не се допускат пукнатини, пори и неметални включения;
- термична обработка – подобрене, твърдост HB=260-280;
- контролират се геометричните допуски на заготовката;
- големина на зърната – за определяне на големината на получените при закаляване мартензитни кристали не трябва да превишават ..бал по DIN ;
- неметални включения – не повече от .... бал по всички скали на DIN;
- ивичност - не повече от бал...;
- прокаляемост – стойностите на прокаляемостта трябва да попадат между кривите по DIN17210
- микроструктура – ферито- перлитна.

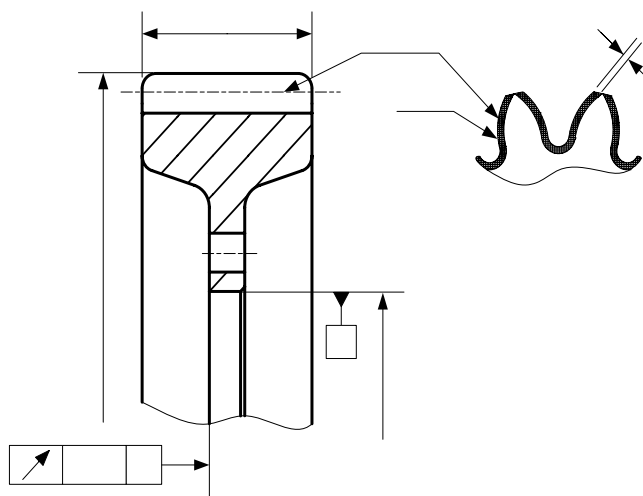
Обоснованите показатели за входящ и изходящ контрол са полезни за разработването на система за управление на качеството при производството на зъбни колела, която е едно от задължителните условия за реализация на продукцията.

### 3. Резултати от изследването

Обект на изследването са две партии от задвижвани зъбни колела ( ГЗК ) за колоосни редуктори. На Фиг.1 е даден общ вид на ГЗК , а на фиг.2 са показани фрагменти от неговия зъбен венец, където са означени индексите на контролираните параметри. Контролните параметри са измервани чрез специализирани измервателни средства по известни методики съгласно изискванията на БДС EN ISO от представителна извадка с трикратна повтаряемост. Статистическата обработка на данните е извършена по известните методики регламентирани в БДС 11052-82 и БДС14652-78.



Фиг.1 Задвижвано зъбно колело



Фиг.2 Индекси на измерваните параметри

### 3.1 Конвенционално произведени зъбни колела

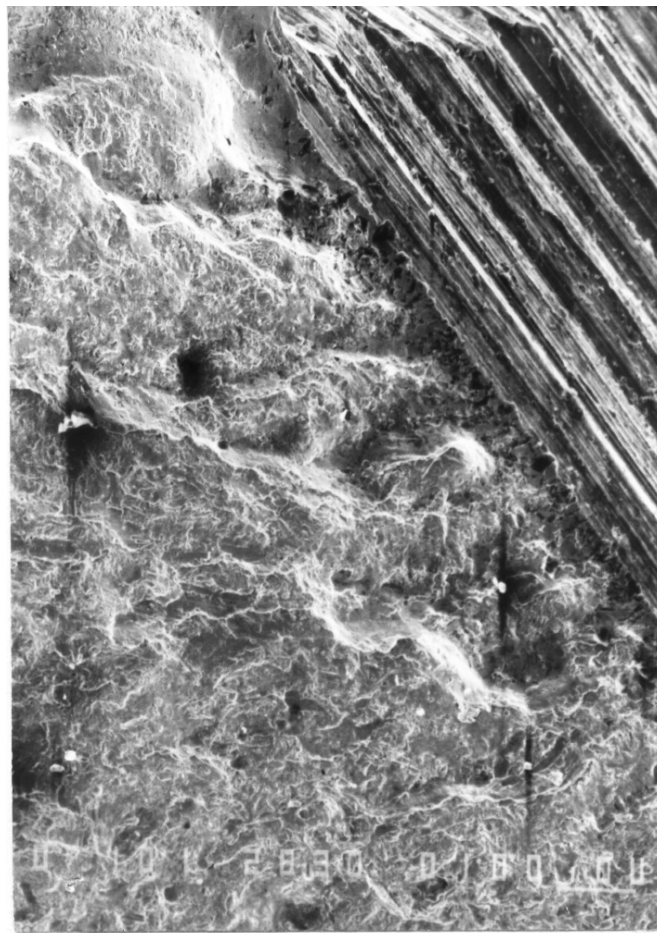
От проведените изследвания за качеството на задвижващи зъбни колела ( ГЗК ) произведени като резервни части за колоосни редуктори се установи, че по отношение на някои контролни параметри има характерни дефекти, които са дадени в таблица 1. Тази партида зъбни колела са произведени по конструкторска документация и по-стара технология в която не са използвани достатъчно методи за подобряване на геометрията и показателите им [ 2,11 ]. Поради това условно са наречени конвенционално произведени.

Таблица 1 Дефекти при производството на зъбни колела

№	Наименование на параметъра
1	Несъответствие в условията за доставка на заготовката
2	Твърдост на закаления слой на зъбите
3	Дефекти от механична обработка в междузъбието
4	Неспазени предписани размери в чертежа

Тези резултати изясняват съществуващото състояние за качеството на този тип зъбни колела. Основните причини за възникналите дефекти са технологични и се дължат на следното:

- доставените заготовки за производството на зъбни колела получени чрез изковка от легирана стомана съдържаща Ni-Cr-Mn , изпълнени във вид на Т образен профил, формобразуван чрез валцуване съдържат неметални оксидни и оксисулфидни включвания и микроструктурна нехомогенност, които са дадени в [ 10 ];
  - при механичната обработка на зъбния венец чрез зъбонарязване и допълнителни обработки се получават механични дефекти (резки), които са изследвани чрез електронна сканираща микроскопия и са дадени на фиг. 3 поради което се оформят концентратори на напрежение [ 10 ];
  - при химико-термичната обработка на зъбния венец извършена чрез индукционно повърхностно закаляване с ток с висока честота ( ТВЧ ) е установено , че дълбочината на закаления слой не винаги обхваща и междузъбието на зъбния венец. Разликата в разпределението на твърдостта по дълбочина на закаления слой , както и неговата нееднаква форма по зъбния венец и микроструктурната нехомогенност са предпоставки за дефекти и по-нисък експлоатационен ресурс;
  - получаването на прагове при шлифоването на еволвентния профил на зъбите поради неправилно избрана геометрична форма на преходната крива също е предпоставка за концентратори на напрежения и по-висока дефектност [ 13 ].
- Резултатите от изложения анализ ни дават основание да считаме, че за подобряване на качеството им е необходимо да се извършва превантивен и технологичен контрол.



Фиг.3 Дефекти от механична обработка - резки

От икономически съображения, най-често измервателните машини не се използват за ефективен контрол на технологичния процес за цялата партида зъбни колела, поради което се достига до случаи когато цялата партида не се приема, тъй като не удовлетворява изискванията на клиента , съгласно договореността за допустимата дефектност в партидата. Това беше илюстрирано в таблица 1 която показва, че като цяло партидата не се приема от потребителя, тъй като на зъбните колела трябва да се отстраняват дефекти. Следователно извадковият контрол в случая не осигурява конкурентноспособност на производителя, поради което е целесъобразно да се изследва и партида от зъбни колела при 100%-ов контрол.

Таблица 2 Средни стойности за контролираните параметри на подобрени зъбни колела

№	Наименование на параметрите	Стойности на контролираните параметри	
		Предписани	Измерени
1	Широчина на зъбния венец, $b_w$ , mm	$\varnothing 120_{-0,3}$	119,8 – 119,9
2	Диаметър на върховата окръжност, $d_a$ , mm	$\varnothing 941,4_{-0,4}$	941,1 – 941,2
3	Диаметър за междуосовото разстояние на отворите, mm	$\varnothing 660_{+0,080}$	660,05 – 660,07
4	Дължина на общата нормала, $W_9$ , mm	$W_9=311,8_{-0,290}^{-0,174}$	311,52 – 311,58
5	Допуск на грешката на направлението на зъба, $F_b$ , $\mu m$	20	6 - 12
6	Допуск на грешката на профила на зъба, $f_f$ , $\mu m$	34	8 - 12
7	Допуск на радиалното биене на зъбния венец, $F_r$ , $\mu m$	100	20 - 30
8	Дълбочина на закаления слой на зъбите, mm	$h=2^{+0,5}$	2,3 – 2,5
9	Твърдост на закаления слой на зъбите	HRC = $50^{+0,5}$	52-53
10	Челно биене, mm	0,050	0,02 – 0,03
11	Челно биене, mm	0,050	0,02 – 0,03
12	Марка на стоманата за изковката	30CrNiMo8	30CrNiMo8

### 3.2 Подобени зъбни колела

В таблица 2 са дадени средните стойности на контролираните параметри при производството на партида от 20 задвижвани зъбни колела – ГЗК с  $m=12\text{ mm}$  и  $Z=77$  зъба при 100%-ов контрол при условие, че AQL приблизително съпада със стойността на Pa за сто процентно приемане на партидата, т.е. произвежданите зъбни колела да са с нулева дефектност.

Тази допустима дефектност се задава в клаузите на договорите за реализирането на продукцията. Тогава общите разходи за проведени контрол представляват разходите за наблюдение и надеждна информация. Въпреки, че тези разходи са значително по-големи поради намаляването на дефектността те ще намалееят и са икономически оправдани в резултат на високото равнище на продукцията. Това за конкретния случай е доказано чрез изследването на експлоатационния ресурс на тези зъбни колела доставени от две различни фирми производители което е дадено в [ 1 ]. Оказва се, че зъбните колела чиято себестойност е два пъти по-висока имат от два до три пъти по-голям експлоатационен ресурс на колоосните редуктори. В резултат на това се намалява и срокът за смяна на зъбните колела, което е икономически оправдано за ремонта на предавателните механизми.

Резултатите показват, че в цялата партида от зъбни колела няма некачествени детайли. Това показва, че при използването на внедрена система за управление на качеството се осигурява нулева дефектност. Следователно партидата от изработени зъбни колела се приема като качествена продукция.

За оценяване на качеството на този тип зъбни колела е необходимо да се извършва 100%-ов контрол по обоснованите по-горе показатели, тъй като от проведените до сега проучвания и прогнозиране на необходимите количества [ 1 ] се установи, че партидите са от 20-40 броя. От друга страна планът за контрол на партидата трябва да не допуска дефектни зъбни колела.

За осигуряване на по-високо качество на произвежданите зъбни колела и оценяване на техните показатели е необходимо да се използва методика, която е структурирана по следния алгоритъм:

- входящ контрол на доставените заготовки по утвърдените нормативни документи: фирмени стандарти, технически спецификации, разпоредби и изисквания за доставка на горещо валцувани стомани ;
- да се използват неконвенционални методи и технологии за подобряване на показателите им, като повърхностно уячаване на слоя чрез магнитно поле и ултразвук дадени в [ 8 ] и други иновационни методи [ 14 ] ;
- профилактичен контрол на оборудването-машини и инструменти за производството на зъбни колела, като се използва и измервателна машина, специализирани електронни устройства за измерване на твърдост и др.;
- технологичен контрол на произвежданата партида зъбни колела в процеса на зъбонарязването и шлифоването им;
- да се извършва 100 %-ов изходящ приемателен контрол на партидата от зъбни колела;
- резултатите от контрола да се представят в приемно-предавателен протокол придружен с графична и таблична информация от измерванията и обработката на данните;
- маркировката направена върху зъбните колела да съответства на посочените данни на приемателния протокол;
- приемането на партидата от зъбни колела да се извърши ако са изпълнени условията договорени между потребителя и изпълнителя регламентирани чрез приемателната крива за определяне на качеството.
- производителят да регламентира гаранционен срок за безаварийна работа на произведената партида зъбни колела.

### 4. Заключение

Обосновани са количеството на контролните параметри за оценяване на качеството на зъбни колела от колоосни редуктори. Експериментално е доказано, че при извършване на сто процентов контрол на партидата произведени зъбни колела и използването на разработени методи за подобряване на техните показатели се постига високо качество на продукцията. Също така може да се използват и електрофизични методи за уячаване на повърхностния слой на зъбния венец чрез магнитно поле и ултразвук. Разработени са методика и нормативни документи за провеждане на превантивен входящ и изходящ контрол при производството на партида зъбни колела. За входящ контрол на заготовките се препоръчва разработена техническа спецификация. Изходящият контрол да се извършва по обоснованите контролни показатели след механичната и термична обработка на зъбните колела. Приложимостта на методиката е проверена чрез оценяване на партида зъбни колела за нуждите на плановите ремонти на колоосните редуктори на локомотиви. Резултатите са полезни и за разработване на системи за управлението на качеството, които са един от важните документи за изпълнение на закона за обществените поръчки и осигуряване на сертификат за качество на произвежданата продукция.

### 5. Литература

1. Динев Г. Повреди в зъбните колела от колоосни редуктори на електрически локомотиви, С., СОФТТРЕЙД, 2004, с.90
2. Динев Г. Методи за подобряване и възстановяване на зъбни колела от колоосни редуктори, С., СОФТТРЕЙД, 2007, с.80
3. Динев Г. Подход за конструкторско документиране на зъбни предавки с цилиндрични зъбни колела, С., СОФТТРЕЙД, 2007, с.130
4. Динев Г., В. Джаджев Обосноваване на методи за диагностика и контрол на колоосни редуктори, Сборник доклади на науч. конф. с меж. участие, АМО, Созопол, септ. 2006, 12-123.
5. Коновалов А. Метрологическое обеспечение оценки качества, Избранные ученые записки ИГУ, Ижевск, т.3, 1998, 28-30.
6. Корийков Ц. Управление на качеството. РУ-Русе, 1988, с.160.
7. Корийков Ц. Процесен подход и показатели на система за контрол на качеството на зъбни колела. Стандартизация, метрология ,сертификация, кн.3, 2006, 23-26 ( Корийков Ц., С. Стоев ).
8. Македонски А. Електрофизична технология за повишаване износоустойчивостта на феромагнитни материали, Автореферат на дисертация за присъждане на научна степен “доктор на техническите науки”, ТУ ,С., 2005, с.76.
9. Тасев Г. Процесен подход при управление на качеството-практическа реализация. Стандартизация, метрология, сертификация, кн.10, 2005.
10. Dinev G. Investigation of Fracture Mechanisms in tractive Reducer Gears-Journal of Material Science and Technology, 2001, Vol.9, pp. 30-41.
11. Börner J., N. Kurz, F. Joachim Effective Analysis of Gears with the Program LVR (Stiffnes Method), VDI-International Conference on Gears, March, München, vol.2, pp. 721-732.
12. Kane M. Technological control of gearing quality, Proc. of CO-MAT-TECH, 98, Trnava, Oct., 1988, pp.464-467.
13. Linke H. Stirnradverzahnung. Berechnung-Werkstoffefertigung, Hanser Verlag, München, 1996.
14. Pahl G., W. Beitz Konstruktionslehre, Methoden und Anwendung , Aufgabe, Springer verlag, 2004.
15. Tachev A., G. Dinev Some productional marketing issues on measuring and assessment of product qualities, Proc. of International Conference KOD, 2004, Novi Sad, 2004, 175-177.