

ИЗИСКВАНИЯ КЪМ ФИЗИКО-МЕХАНИЧНИТЕ ПОКАЗАТЕЛИ НА СТОМАНИТЕ ЗА ПРОИЗВОДСТВО НА ЛОКОМОТИВНИ ОСИ

Жельо ДИМИТРОВ, Васко НИКОЛОВ

zh_dimitrov@tu-sofia.bg, va_r_nikolov@abv.bg

Жельо Димитров, проф. д-р, Васко Николов, докторант, Технически университет - София, бул. „Св. Кл. Охридски“ 8,
БЪЛГАРИЯ

***Резюме:** Разгледани са по-важните изисквания към химическия състав и физико-механичните показатели на стоманите за производство на локомотивни оси. Пояснено е значението на отделните елементи в състава. Описани са видовете изпитвания за определяне на механичните показатели на стоманите. Направени са препоръки относно доставянето на готови локомотивни оси или изковки за тях..*

Ключови думи: Стомани, Локомотивни оси, Химически състав, Макроструктура, Микроструктура, Якост.

Марката стомана с нейния химически състав, механични показатели и стабилното качество при производство ѝ, е от голямо значение за надеждността на локомотивните оси в експлоатация.

Локомотивната ос е един от най-натоварените и отговорни елементи от ходовата част на локомотива. При движение тя получава изцяло динамично натоварване по симетричен цикъл с променлива амплитуда. Това е тежък режим за механичния елемент и резултатът от работата му е натрупването на умора на материала, водещо до поява и развитие на пукнатини и разрушения. Допускането на такива откази е пряко свързано с безопасността на движението на влаковете.

Локомотивната ос в якостно отношение трябва да има срок на експлоатация, значително превишаващ този на локомотива. При това в края на този срок натрупаните повреди от умора в материала трябва да са в такава незначителна степен, че вероятността за отказ, изявяващ се в пукнатини и разрушение от умора, да бъде от порядъка на 10^{-5} ÷ 10^{-4} [2 и др.]. Точно заради този вид повреди при производството на нови оси се извършва строг регламентиран контрол на

химическия състав и на редица физико-механични показатели на използваната стомана за оси, които трябва да бъдат в зададени от фирмата-производител граници [1,6].

Развитието на науката и технологиите, както и натрупаният дългогодишен опит от железопътните администрации и от производителите на оси, определи необходимата надеждност на тези отговорни елементи да се осигурява чрез следните важни моменти:

1. Избор на подходяща стомана по химически състав и металургичен процес на добиване.

Кодекс 811-1 [6] на UIC стандартизира пет типа стомани за оси с означения: **A1, A2, A3, A4** и **A5**, като от тях **A1** и **A2** се препоръчват само за вагонни оси. По химически състав стоманите се подразделят на: **A1** и **A3** – средно въглеродни, но съдържащи микролегиращи елементи; **A2, A4** и **A5** – легирани стомани. Химическият състав е показан в **Табл. 1**, а механичните качества – в **Табл. 2**.

Горните гранични стойности на основните химични елементи в състава на стоманите и тяхната комбинация под тези граници

основно осигуряват подходящи механични показатели (R_e , R_m , $A\%$, KU) и съответно добри носещи възможности при споменатото натоварване на осите. Благоприятен ефект за дребнозърнеста и равномерна структура на материала придава и микролегиращото действие на малки количества Cr , Cu , V и Ni . В този състав стоманите притежават

достатъчна пластичност и висока ударна жилавост – качества, необходими при динамично натоварване. Стоманите са относително по-евтини спрямо повечето високоякостни легирани стомани, прилагани в общото машиностроене.

Таблица 1

Тип на стоманата		Химически състав									
Означение според други стандарти		C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Cu %	Mo %	V %	Ni
A1	C35 ^e	≤ 0.37	≤ 0.46	≤	0.040	≤ 0.040	≤ 0.30	≤ 0.30	≤		≤ 0.30
	22MnCrV5	0.17-0.27	≤ 0.40	1.40	≤ 0.025	0.030	0.20-0.70	0.25		0.15	≤ 0.30
	C45 ^e	0.42-0.50	0.15-0.40	0.80	≤ 0.035	0.035		0.30	–		≤ 0.30
	25CrMo4/ISO R 683 II Type 1	0.29	0.15-0.40	0.50-0.80	0.035	0.035	0.90-1.20	≤ 0.30	0.15-0.30	≤ 0.05	0.30
	42CrMo4/ISO R 683 IV Type 3a	≤ 0.45		≤	0.035	0.035	–	0.30		≤ 0.10	0.30

Таблица 2

Тип на стоманата		аботка	Механични свойства				
Означение според други стандарти			(Мра)	R_m (σ_B) (Мра)	A (%) min	KU (J) min напречно	
C35 ^e			270	500-650	20	8	
			320	550-560	22	10	
			350		24	15	
22MnCrV5			350	510-620	22	20	
C45 ^e			360	600-750		10	
			390	620-770	19	13	
25CrMo4/ISO R 683 II Type 1		T	420		18	40	
A5	IV Type 3a	T	510	730-880		25	13

Посочените норми за механичните качества оценяват якостта на умора по косвен път, тъй като изпитвания на умора на осите е много скъпо и неоправдано мероприятие, колкото и малък извадков контрол да се приложи. Дългогодишният опит на железопътните администрации е дал основания да се счита, че ако химичният състав на стоманата и предписаните механични показатели са в предвидените граници и са спазени всички изисквания при коването, термообработката и механичната обработка на оста, то тя ще има достатъчна носеща способност и по отношение на умора.

Изключително важни са технологичните методи за добиване на стоманите, като тук предимство имат големите електродъгови

печи (плавки от 100 t и нагоре), прилагане на вакуумиране, контролиране на основните елементи в стопилката и на химическия състав на готовия продукт, подходящи

размери на отлетите блокове или валцоване на материала до зададено сечение и др. С не по-малка важност са прилагането на:

- подходящи технологични процеси на пластична обработка;
- подходяща термообработка (**U** – без термообработка; **N** – нормализация; **T** – “подобряване” – един или два пъти закаляване с последващо отпускане);
- правилна механична обработка;
- прецизен контрол на качеството в различните етапи при производството на осите.

2. Химически анализ.

Съдържанието на отделните елементи (химическият състав) предопределя възможностите на материала както по отношение на механичните свойства, така и по отношение на структура, фазово състояние, закаляемост, ефективност от прилаганите термообработки и др. [1].

Влиянието на отделните елементи в материала за изработване на осите може да се определи по следния начин:

➤ Въглеродно съдържание C: основен елемент, който определя вида на стоманата, както и основните ѝ механични показатели. За изработването на осе се препоръчва съдържанието на въглерод да е около 0,3 %;

➤ Силиций Si: повишава якостта на опън и твърдостта на стоманата, без да влияе значително върху пластичните ѝ свойства, подобрява корозоустойчивостта ѝ;

➤ Манган Mn: повишава твърдостта, прокаляемостта и износоустойчивостта на материала. Подходящата комбинация между **Mn**, **C** и **Si** има значение за получаването на необходими якостни показатели;

➤ Хром Cr: в съединение с въглерода образува карбиди, които подобряват твърдостта, якостта, и износоустойчивостта на стоманата, увеличава границата на провлачване, но намалява пластичността и якостта на удар, повишава устойчивостта срещу корозия;

➤ Мед Cu: подобрява предимно някои технологични свойства и устойчивостта срещу корозия;

➤ Молибден Mo: придава голяма якост, висока пластичност и устойчивост на ударни натоварвания, спомага за получаване на дребнозърнеста структура, която се запазва при високи температури, подобрява корозоустойчивостта и намалява образуването на обгари при нагриване на стоманите;

➤ Ванадий V: увеличава плътността, якостта и твърдостта, способства за създаването на дребнозърнеста структура даже при загряване при високи температури;

➤ Никел Ni: подобрява якостта и твърдостта на стоманата и едновременно повишава пластичността и якостта на удар, като в по-големи количества придава на стоманата антимагнитни свойства, намалява коефициента на линейно разширение, увеличава устойчивостта срещу корозия;

➤ Фосфор P, сяра S: при всички случаи това са вредни елементи, които понижават

качеството на стоманата, тъй като представляват неметални включвания [3].

3. Макроструктурен анализ

Макроструктурният металографски анализ дава възможност да се изучат при малко увеличение (до 5 пъти) структурни елементи и дефекти на металите като ломове, шупли, пукнатини, непровари, текстура, общо изменение на структурата (по сечението на образеца) и др. Повърхнините на макрошлифовете могат да бъдат обработени и необработени.

При изследване на вагонни и локомотивни осе макрошлифът може да представлява диск с дебелина около 10 mm и диаметър, равен на диаметъра на оста. За да не се унищожава оста, такива шлифове могат да се отрязват от двата ѝ края. Важно в случая е изработването на шлифовете да не е съпроводено с високи температури (близки до точката на фазово превръщане), за да не се промени структурата на материала. Отрязването с газова горелка може да става на разстояние 30 – 50 mm от мястото на изследваната повърхност, съпроводено с интензивно охлаждане. Охлаждане би трябвало да се прилага и при престъргването и шлифоването. Прилага се и полиране на шлифовете, което може да бъде механично, електролитно и химическо.

4. Микроструктурен анализ

Микроструктурният анализ се извършва само с помощта на металографски микроскоп. Микрошлифът има малка повърхност (до 1,5 cm²). Изработването му трябва да става много внимателно, тъй като при съответните увеличения се появяват всички драскотини и наранявания.

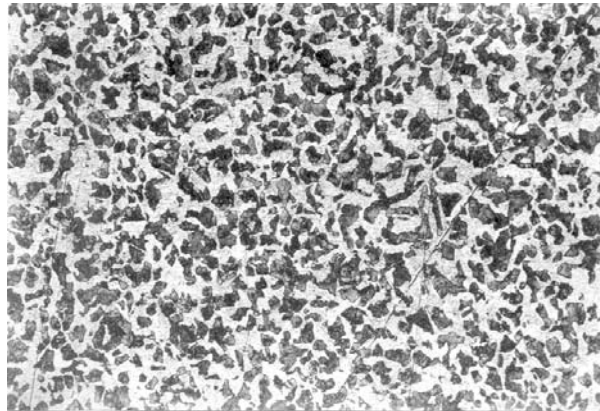
Изработването на микрошлифа обхваща избор на място за отнемане, изрязване, оформяне, шлифване и полиране. Особено важно е да не се закръгляват ръбовете му, защото в противен случай няма да могат да се наблюдават периферните зони. Проявяването на шлифа трябва да става много внимателно, като предварително се избере (от справочник) видът на проявителя.

Освен другите анализи на микроснимките се изисква феритните частици да не са по-големи от **бал 5**, според **ISO 643**. За сравнение на балната оценка се използват еталонни снимки при увеличение от 100 пъти (**Фиг. 1**). За откриване на микродефекти и наличие на пукнатини в края на зърната, се

препоръчват и микроснимки с увеличение до 500 пъти [3].

5. Изследване разпределението на сярата и съединенията й (отпечатък на Бауман).

Целта на това изследване е да се определи балът на серните включения и тяхното разпределение в обема на детайла. Това са неметални включения, които влошават механичните показатели и експлоатационните



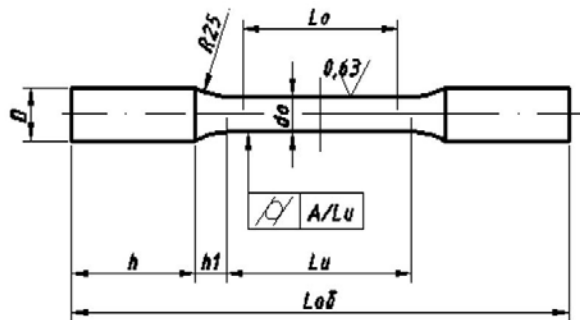
Фиг. 1. Снимка на структура на стоманата при увеличение 100 пъти

свойства на стоманата.

Методиката за проверяване на серните включения е стандартна. Макрошлифът трябва да е полиран, за да може да се получи плътен контакт между изследваната повърхност и фотохартията. В противен случай ще се получат бели петна, които могат да изкривят резултатите. След получаване на отпечатъците от серни съединения върху фотохартията, същите се сравняват със стандартизираните таблици, от които се определя балът на включенията. Еталонни снимки за сравнение и бална оценка се съдържат в [3,6 и др.]. Освен сулфидната нееднородност, чрез отпечатък на Бауман могат да се откриват и микропукнатини, а също и пластично деформирана текстура.

6. Изпитване на якост на опън

Чрез изпитване на опън се оценяват показатели, които са нужни за определяне качеството на материала, а именно: граница на провлачване $\sigma_s (R_e)$; якост на опън $\sigma_b (R_m)$; относително удължение $\delta (A5)$ %. Високите стойности на тези механични показатели кореспондират с по-високи показатели, характеризиращи динамичното натоварване на детайлите, като: граници на якостта на умора при циклично знакопроменливо симетрично натоварване σ_{-1} , σ_{-1}^{on} и τ_{-1} ;

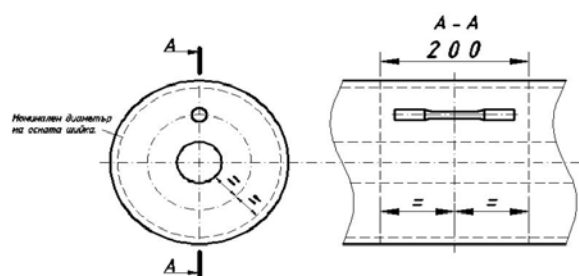


Фиг. 2. Пробно тяло (епруветка) за изпитване на якост на опън

граници на якостта на умора при циклично пулсиращо натоварване σ_o , σ_o^{on} и τ_o .

Изпитването се състои в натоварване на пробно тяло (Фиг. 2) на опън, обикновено до разрушаването му. При избора на пробните тела трябва да се предпочита унификация при $d_o = 10 \text{ mm}$ и $L = 5d_o$ [6]. Желателно е дължината на главите h да е по-голяма от посочената, за да се избягнат евентуални приплъзвания при изпитването, но при дългите пробни тела се унищожава повече материал от изкованата ос и се разходва повече труд за изработването им.

Необходимо е да се обръща внимание на геометричната точност на епруветката, за да не се допуска ексцентричност в изпитваната част (да се обработва окончателно между два центъра), да се спазва класът на грапавост, да не се допускат концентратори по работната повърхност, окончателната обработка на цилиндричната част и закръгленията да се правят на един преход с възможно малка



Фиг. 3. Разположение на пробното тяло за изпитване на якост на опън при ос с надлъжен отвор

дебелина на отнемания материал. Не е желателно изрязване на образците с газова горелка, а ако това става, припусъкът за механична обработка да е над 30 mm. Мястото от изкованата ос, откъдето се взема пробното тяло за изпитване на опън, е показано на (Фиг.3) [6].

7. Изпитване на ударна якост (жилавост).

Това изпитване е задължително за динамично натоварени елементи. Изпитванията са строго стандартизирани и се осъществяват чрез механичен чук (чук на Шарпи).

Основното при изпитването на материала на осите на ударна жилавост е начинът на отнемане на пробните тела. Епруветките, които се вземат, са два вида – по дължина на влакнестата структура и напречно на влакната. Първите следва да покажат по-голяма жилавост, тъй като при тях текстурата (влакната) не е наранена. Затова в **Табл.2** граничните минимални стойности за този показател за надлъжно и напречно направление са съответно различни. На фигура в [6] са показани местата от оста, от които се вземат по три надлъжни и три напречни пробни тела.

Повод за настоящото изследване бяха зачестилите повреди на осите на електрическите локомотиви на БДЖ серия 46. Те са произведени в Румъния по лиценз на ASEA, имат часова мощност 5400 kW и колоосна формула C_0+C_0 . Проблеми с недостатъчната надеждност на колоосите им възникнаха още през първите години след пускането им в експлоатация (въведени в работа през 1986 г.). Основният вид откази, които се появиха, са счупвания или пукнатини в осите от умора на материала в областта на холкера (разделителния канал) между подглавинните части на диска на колелото и носача на голямото зъбно колело, както и в близост до края на подглавинните части откъм средата на оста. Голяма част от

локомотивите от тази серия са изведени от експлоатация в очакване на замяна на осите им с нови и по-надеждни.

За осите производителят е използвал румънската легирана стомана марка **34MoCrNi15X**. По каталожни данни тази стомана има високи якостни показатели и би трябвало да е подходяща. Проведените множество изпитвания на механичните показатели от независими румънски и български лаборатории показаха редица случаи на неизпълнение на предписаните норми за минимална якост [2,5]. Най-вероятно това е резултат от нестабилно качество при производството на румънската стомана за локомотивни оси и на нейната пластична обработка и термообработка.

Направено беше проучване в някои европейски страни за други масови случаи на повреди в осите, довели до замяната им с нови от друг материал при големи серии локомотиви [2,5]. Стоманите, показали масови пукнатини и разрушения в експлоатация, са показани в **Табл.3**. От тях въглеродната стомана St35 вероятно е с недостатъчна якост за локомотивни оси, а останалите имат повишени стойности на въглерода, което ги прави достатъчно високоякостни, но с недобра пластичност, жилавост или податливост към подходяща термообработка.

В **Табл.4** са показани стомани, за които има информация, че произведените от тях локомотивни оси за големи серии локомотиви са показали достатъчна надеждност.

Таблица 3

Тип на стоманата	Химически състав									
	C	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Cu %	Mo %	V %	Ni %
34MoCrNi15X ЕЛ 46 - Румъния	0.30- 0.38	0.17- 0.37	0.40- 0.70	≤0.025	≤0.025	1.40- 1.70	x	0.15- 0.30	x	1.40- 1.70
42CrMo4 ЕЛ OBВ Австрия	0.38- 0.45	0.17- 0.37	0.50- 0.80	≤0.035	≤0.035	0.90- 1.20	x	0.15- 0.25	x	x
St 45 ЕЛ OBВ Австрия	0.42- 0.45	0.35	0.50- 0.80	≤0.035	≤0.035	x	x	x	x	x
ЕЛ DB Германия	0.32- 0.40	0.15- 0.50	0.70	≤0.035	≤0.035	x		x	x	
St 50 ЕЛ DB Германия	0.54	x	x	≤0.035		x	x		x	x

Посочените в **Табл.4** марки „добри” стомани могат да се използват като препоръчителни при доставка на локомотивни оси от чужбина. При

шведската стомана **2244** – SwN, производство на ASEA – Швеция, където легиращите елементи са в относително по-малки количества, повишаването на якостта

на материала се дължи на увеличеното въглеродно съдържание. Същото важи и за чешката стомана **11558.1 – ČSN**, от която са произведени осите на локомотивите от парка на БДЖ серии 43, 44, 45, която е приравнена като идентична на стоманата по **DIN 1.0511**, т.е на немската стомана **C40**. Данните за нея са показани в таблицата в

скоби. С много добри данни е френската легирана стомана **35NCD6**, но тя е и доста скъпа. Малки количества локомотивни оси от тази стомана са доставени за серия 46 и досега работят без проблеми.

Означение	Химически състав									
	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Cu %	Mo %	V %	Ni %
35NCD6 – NF VALDUNES Франция	0.30-0.37	≤ 0.40	0.60-0.90	≤0.04	≤0.04	0.85-1.15		0.15-0.30	x	1.20-1.60
Швеция 11558.1 – ČSN ЕЛ 43, 44, 45 Чехия (≈DIN 1.0511-St40)	0.38-0.45	0.40	0.60-0.90	≤0.04		0.90-1.20	x	0.20	x	x
ЕЛ ОВВ Австрия	≤ 0.45 (0.37-0.44)	x (≤0.30)	x (0.5 - 0.8)	≤0.05	≤0.05	x (≤(0.40))	x	x (≤(0.10))	x	≤(0.40)
ЕЛ ОВВ Австрия	0.30-0.37	0.17-0.37	0.50-0.80	0.035	≤ 0.035	0.90-1.20	x	0.25	x	x
ЕЛ ОВВ Австрия	0.20-0.28	0.37	0.40-0.70	≤ 0.035	≤ 0.035	1.30	x	0.20-0.30		x
ЕЛ DB Германия	0.22-0.29	≤ 0.40	0.60-0.90	≤ 0.035	≤ 0.035	0.90-1.20	x	0.20-0.30	x	0.40

Таблица 4

Изводи и препоръки.

От направения анализ на изискванията за химическия състав и механичните характеристики на стоманите за локомотивни оси могат да се направят следните изводи и препоръки:

1. Необходимо е да се ползва авторитетен производител на стомана за доставка на локомотивни оси, който гарантира и е доказал стабилно качество на своето производство.
2. Напълно допустимо е договарянето от „БДЖ” ЕАД на доставки на оси или заготовки за тях от стомана с по-ниски якостни показатели, но не по-ниски от показателите, препоръчани от UIC 811-1 (като шведската 2244 – SwN и чешката 11558.1 – ČSN), ако качеството ѝ е гарантирано, а цената – по-ниска от тази на легираните и респективно по-скъпи стомани (например разгледаните по-горе френска 35NCD6 или румънска 34MoCrNi15X).
3. Използваната от румънския доставчик хромникелмолибденова стомана за осите на локомотиви серия 46 е с предписани високи якостни и добри други механични показатели. Честото получаване на пукнатини от умора предполагат отклонения при производството на осите и нестабилност в качеството. Не може да се

препоръча доставянето на изковки или оси за локомотивите от серия 46 от такава стомана, произведена в Румъния.

4. При договаряне на доставките на оси за локомотиви (нови или за съществуващи серии), следва стриктно да се спазват всички изисквания на [4,6], като предлаганата стомана да бъде подходяща за крупни изковки и подобряема чрез термообработка. Авторитетните фирми-производители на локомотивни оси от Германия, Франция, Италия, Швеция и други страни разполагат с широка гама от подходящи за тази цел стомани и те са най-компетентни и отговорни да направят правилния избор на марката стомана.

5. Много важен момент при договарянето е производителят на изковки за оси или готови оси да има необходимия опит и да предложи такава стомана с нейната пластична обработка и термообработка, от която е произвеждал локомотивни оси в големи серии и те са показали достатъчна надеждност на умора през дълъг период на експлоатация.

Литература:

[1] Димитров, Ж. и др. *Анализ на причините за недостатъчната надеждност на колоосите на локомотиви серия 46 и предлагането на мерки за повишаването ѝ.* С., НИС при ТУ, дог. №2444-4/99, 2000.

[2] Димитров, Ж. и др. *Изследване качествата на стари вагонни оси във връзка с*

годността им за следваща окомплектовка. С., НИС при ТУ, дог. № 2246-4/97, 1998.

[3] **Димитров, Ж., К. Кирилов и др.** Физико-механични изпитвания на вагонни оси, произведени по метода на електрошлаково претопяване на стари оси и радиално коване. С., НИС при ВМЕИ, дог. № 1696-4/92, 1994.

[4] **ПЛС 410/85.** Инструкция за колоосите на тяговия подвижен състав на БДЖ. С., БДЖ, 1989.

[5] **Служебен архив** на отдел Локомотиви на НК БДЖ – Генерална дирекция, относно проблемите с колоосите на локомотивите серия 46 в периода 1986 – 2000 г.

[6] **UIC Code 811-1.** *Specification technique pour la fourniture d'essieux-axes pour materiel roulant moteur et remorque.* 1987.

REQUIREMENTS OF PHYSICAL AND MECHANICAL INDICES ON THE STEELS FOR PRODUCTION TO THE ENGINE AXLES

Jelyo Dimitrov, Vasko Nikolov

Jelyo Dimitrov, professor, PhD Eng, Vasko Nikolov, PhD student, M Eng Sc,
Technical university – Sofia, 8 St. Kliment Ohridski Blvd,
BULGARIA

Abstract: *The more important requirement for the chemical members, physical and mechanical indices on the steels for production to engine axles are viewed. The meaning to the separate elements of the group is explained. The types of the examinations for assigning the mechanical indicators of the steels are identified. The recommendations about delivery of prepared engine axles and wrought parts for them are made.*

Key words: *Steels, Engine axle, Chemical members, Macrostructure, Microstructure, Strength.*