

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА НА СТОМАНИ С ПРИЛОЖЕНИЕ В АВТОМОБИЛНАТА ПРОМИШЛЕНОСТ

Николай Тончев

[tontchev@vtu.bg](mailto:tontchev@vtu.bg)

Висше транспортно училище “Тодор Каблешков” – София 1574, Гео Милев 158

Катедра: “Машинни елементи материалознание и химия”

БЪЛГАРИЯ

**Ключови думи:** автомобилостроене, метални материали, високояки стомани, TRIP – стомани, мартензитни стомани, оптимизиране на състава.

**Резюме:** В съобщението се обобщава информацията относно означенията, структурата и свойствата на стоманите с приложение в автомобилната промишленост. С помощта на моделирането е препоръчан подход за проектиране на състав и подходящо обработване, подобряващо механичните пластични свойства на стоманите с мартензитна структура. Изследването е финансирано от Фонд «Научни изследвания» в рамките на договор ДВУ 02/11.

За потребностите на автомобилното производство в стоманодобивната промишленост продължават изследванията по създаването на нови видове стомани. Голямата серийност и конкурентност на това производство изисква намаляване на производствените разходи чрез иновации в областта на технологията и подобряване на безопасността при възникване на пътни инциденти [1]. Изследванията имат за цел да намалят теглото на крайния продукт чрез внедряването на високояките стомани. Приложенията на високояките стомани се увеличават като средство за едновременно удовлетворяване на твърде противоречиви изисквания, свързани с по-добрата деформируемост, заваряемост и устойчивост към удар, умора и корозия.

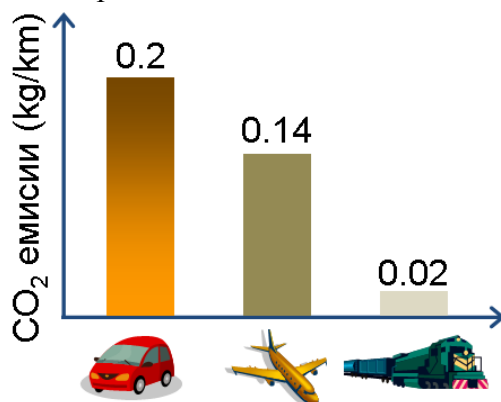
Различни видове високояки стомани, създадени в зависимост от потребностите на пазара, с якост на опън 980 – 1180 МПа се прилагат за отделни автомобилни компоненти или части, докато якостта на повечето от стоманите с общо предназначение варира в границите 440 – 590 МПа. Свръх яките листови стомани все още намират ограничено приложение поради ограничената пластичност. Nippon Steel Corporation е създадала и внедрила три вида високояка листови стомана с якост от 980 МПа, намерили приложение при изработването на автомобилните седалки [2].

Настоящото изследване има за цел да обобщи информацията относно означенията, структурата и свойствата на стоманите с приложение в автомобилната промишленост и да препоръча подход за проектиране на състав и подходящо обработване, подобряващо механичните им и пластични свойства.

### 1. Видове стомани и съвременни тенденции.

В [3] Ron Krupizer вицепрезидент на автомобилните приложения на Американския институт по черна металургия (AIS) посочва иновативни начини, свързани с изискванията за икономия на гориво, емисии и рециклиране. Пояснено е, че чрез внедряването на

високояките стомани е възможно тялото на каросерията да се намали с 25%, а при новите трето поколение стомани, които са в процес на разработване се очаква да се постигне редукция на теглото от 35 %. На фиг. 1 е показан обемът на вредни емисии [kg/km] на различните транспортни средства и най-високият дял е отчетен при автомобилите. Намаляването на теглото при тези транспортни средства значително подобрява горивната ефективност, което като резултат е свързано с намаляване емисиите на парниковите газове.



Фиг.1. Стойности на дела на отделените CO<sub>2</sub> емисии при различни транспортни средства [3].

За намаляване последствията от глобалното затопляне правителството на Япония е предприело мерки за подобряване разхода на гориво при бензиновите двигатели с около 20% от 1995 насам, като се е променила действителната стойност от 12.6 km/l на 15.3 km/l за 2010г.

Таблица 1. Данни за механичните и пластичните показатели на стоманите с приложение в автомобилната промишленост.

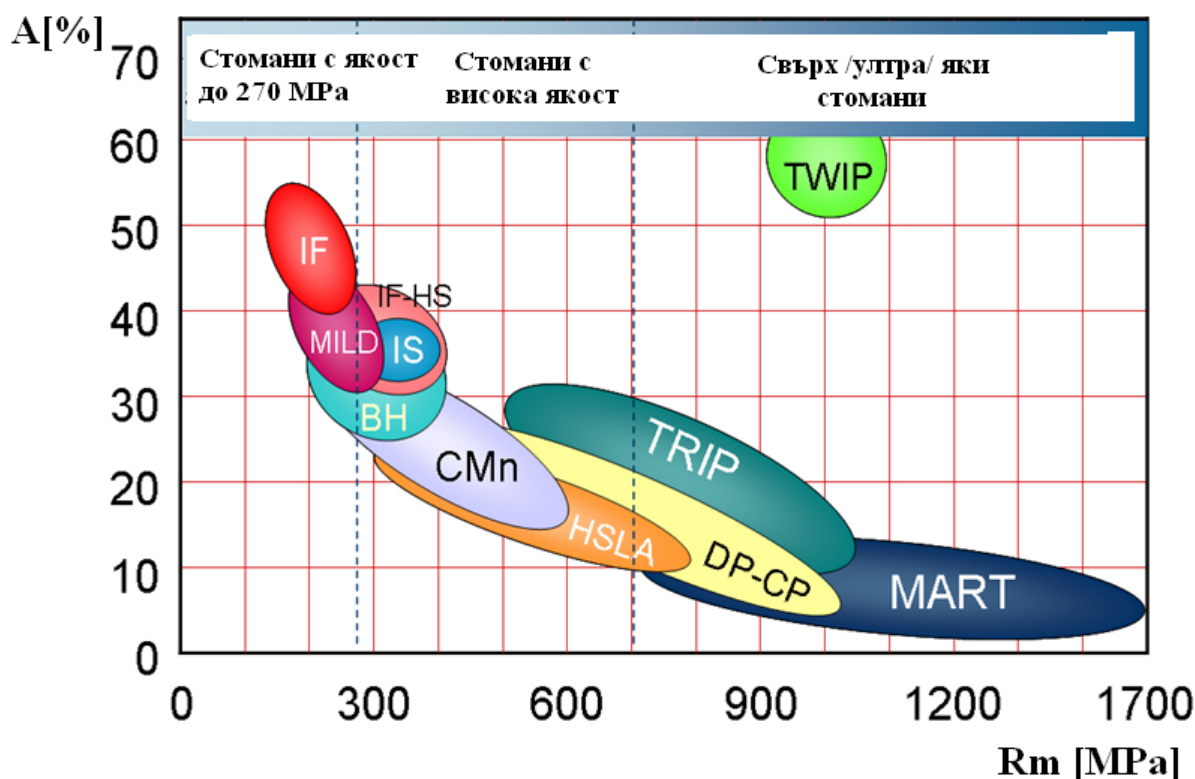
№	Означение на Стоманата	Re [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	n
1	Mild 140/270	140	270	38 - 44	0.05-0.15
2	BH 210/340	210	340	34 - 39	0.23
3	BH 260/370	260	370	29 - 34	0.18
4	IF 260/410	260	410	34 - 38	0.13
5	DP280/600	280	600	30 - 34	0.2
6	IF300/420	300	420	29 - 36	0.21
7	DP 300/500	300	500	30 - 34	0.2
8	HSLA 350/450	350	450	23 - 27	0.16
9	DP 350/600	350	600	24 - 30	0.22
10	DP 400/700	400	700	19 - 25	0.14
11	TRIP 450/800	450	800	26 - 32	0.14
12	HSLA 490/600	490	600	21 - 26	0.24
13	DP500/800	500	800	14 - 20	0.13
14	SF570/640	570	640	20 - 24	0.14
15	CP 700/800	700	800	10 - 15	0.08
16	DP 700/1000	700	1000	12 - 17	0.13
17	Mart950/1200	950	1200	5 - 7	0.09
18	MnB	1200	1600	1 - 5	-
19	Mart1250/1520	1250	1520	1 - 6	0.07

Данни за означенията и конкретни стойности за якостните и пластичните характеристики на използваните в автомобилната промишленост стомани са посочени в табл.1.

С намаляването на теглото на отделните компоненти трябва да се запази баланса при проектирането чрез системата “състав – режим на обработване - свойства”, с което е необходимо да се подобри якостта и повишат пластичните характеристики на разглежданите стомани. Тъй като означенията са еднотипни за целия свят, цитираните в табл.1 означения са

свързани с програмата ULSAB – AVC (Ultra Light Steel Auto Body – Advanced Vehicle Concept ). Word Auto Steel е автомобилна група от 17 фирми производители на стомани, предназначени за автомобилната промишленост, част от World Steel Association.

Стоманите, предназначени за автомобилната промишленост фиг.2. могат да се класифицират по различни признаци.



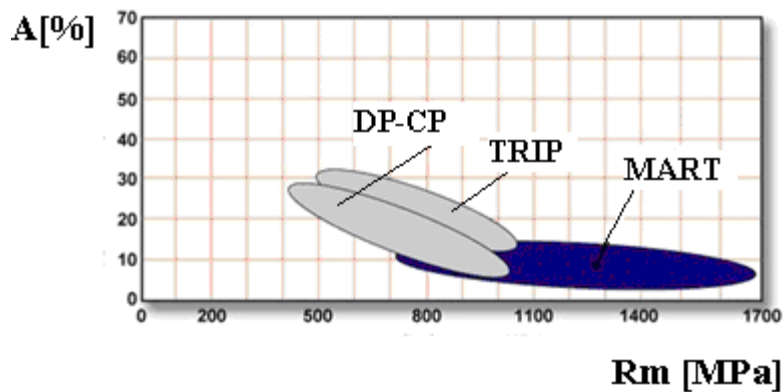
Фиг. 2. Области на изменение на качествените показатели на стоманите от програмата ULSAB – AVC.

Както прави впечатление от табл. 1 и фиг. 2. увеличаването на якостта при различните видове стомани от една страна е свързано с намаляване на удължението от друга. Това неблагоприятно обстоятелство на високояките стомани води до влошаване на деформируемостта на листовия и профилния материал, но за сметка на това се подобрява устойчивостта към удар без да се увеличава масата на изделието. Цитираните показатели имат по-широк обхват на изменение, дължащ се на обединяването на спецификации от различни стоманодобивни предприятия, които имат различни възможности за производство.

Химическият състав на стоманите е от решаващо значение за гарантиране качеството на продукта. То се определя чрез механични свойства, получени в действителност след пластичното и термично обработване на материала.

Манганът, хромът, молибденът и никелът, добавени като легиращи елементи индивидуално или в комбинация спомагат за увеличаване на якчаването. Увеличаване количеството на въглерода допренася за увеличаването на мартензита. Варирането с въглерода и останалите легиращи елементи не само трябва да повишава механичните свойства, но и най-важното, което трябва да се има пред вид при една бъдеща оптимизация е, че трябва също да се запазват или дори подобряват технологичните свойства, като заваряемост, деформируемост и др.

Предмет на разглеждане в настоящото изследване са стоманите с якост на опън по-голяма от 700 [MPa], схематично представени на фиг. 3.



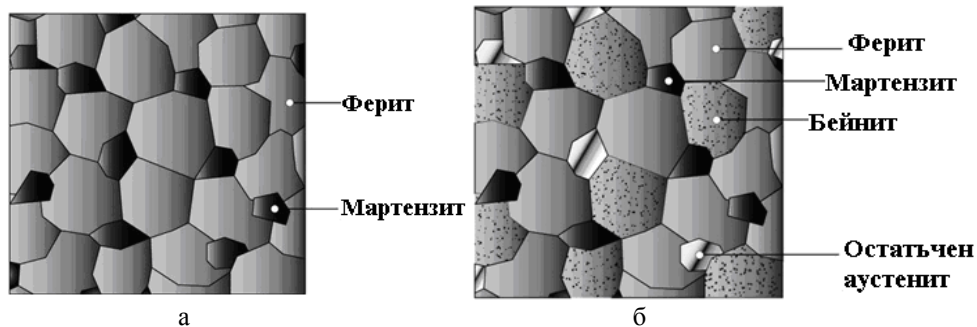
Фиг.3. Означение и характеристики на стоманите, обект на микроструктурното разглеждане.

## 2. Микроструктурни особености на високо яките стомани.

Двуфазните (DP) стомани се състоят от феритна матрица (фиг. 4 а), съдържаща в себе си твърдата мартензитна съставляваща, обособена в отделни области. Меката феритна фаза на тези стомани придава добри условия за формоизменение. При тяхното деформиране напреженията се съсредоточават около феритната, а твърдата мартензитна фаза се преразпределя в по-голям обем в резултат, на което следва уякчаването. Увеличаването на обема на мартензита води до нарастване стойностите на якостта при стоманите.

Превръщането на аустенита при двуфазните стомани във ферит и мартензит се осъществява чрез контролируемо охлаждане при получаването на горещо валцувания продукт. В зависимост от химичния състав и технологичния маршрут на обработване на стоманата е възможно микроструктурата и да съдържа и бейнит.

При TRIP (TRansformation Induced Plasticity) стоманите (общ вид на структурата, на които е представен на фиг. 4 б) остатъчният аустенит от порядъка на 5 % присъства в състава на феритната матрица съвместно с различни количества от твърдите фази мартензит и бейнит. По време на деформацията остатъчният аустенит при тези стомани се превръща в мартензит.



Фиг. 4. Схематични микроструктури на двуфазна (а) и TRIP (б) стомани.

Количеството на остатъчния аустенит, трансформиращ се в мартензит, се регулира чрез въглеродното съдържание в стоманата. При TRIP стомани с по-ниско съдържание на въглерод остатъчният аустенит започва да се превръща в мартензит веднага след деформацията, като се повишава скоростта на уякчаване. При TRIP стомани с по-високо въглеродно съдържание остатъчният аустенит е по-устойчив и започва превръщането му в мартензит при прагове на напрежението извън тези предизвикани от деформацията. Например уякчаването при този вид стомани се осъществява в случай на удар при пътен инцидент (crash event). С този описан ефект следователно състава и свойствата на TRIP стоманите могат да бъдат така проектирани, че да предоставят от една страна много добри условия за деформиране, а от друга уякчаване с цел поглъщане (усвояване) енергията на удара при катастрофа.

Стоманата комплекс от фази (CP) има подобна микроструктура на TRIP стоманите, но тя не съдържа остатъчен аустенит.

При MART стоманите крайната структура се получава от аустенита, който по време на валцуването на горещо се превръща изцяло в мартензитна матрица, съдържаща малки количества ферит и/или бейнит. Мартензитните MART стомани притежават най-висока якост на опън, до 1700 МПа, съпътствана с най-малка възможност за пластична деформация. По-високото въглеродно съдържание в мартензитните стомани, е съпроводено с повишаване на уякчаването поради нарастването на мартензита.

### 3. Проектиране на мартензитна стомана с оптимални показатели.

Етапът по създаването (проектирането), изследването, производството и внедряването високояки легирани стомани включва уточняването на: химическия състав, параметрите на режимът на термично обработване и окончателните механични характеристики. Стоманата със своите елементи и възможности за термично обработване представлява технологичен обект и следователно спрямо нея може да се приложи подход на моделиране на свойствата и оптимизиране на състава в зависимост от конкретното приложение. Процедурата по обосноваването уточняване на химическия състав чрез броя и количеството на легиращите елементи е относително нова по отношението на търсенето на връзка с окончателните механични показатели.

В [7] е приложен метод, алгоритъм за моделиране чрез изкуствени невронни мрежи (ИНМ) за създаване на оптимизиран състав на сплав на желязна основа и рационален технологичен режим на работа. Избраният пилотен пример е от областта на металургията, но създадения инструментариум успешно може да се прилага в заготовителното и химико-термичното производство. Въз основа на оптимизацията на състава на сплавите на желязна основа се предлагат нови високояки марки легирани стомани с висок експлоатационен ресурс.

Предлаганата процедура посочва многокритериална оптимална връзка между предполагаемите механични свойства на съответния състав. Многокритериалната оптималната връзка „състав – свойства” се отнася към комплекса от механични характеристики, разглеждани като съвкупност от целеви функции, чрез които се оптимизират потребителските качества на стоманите за конкретното приложение.

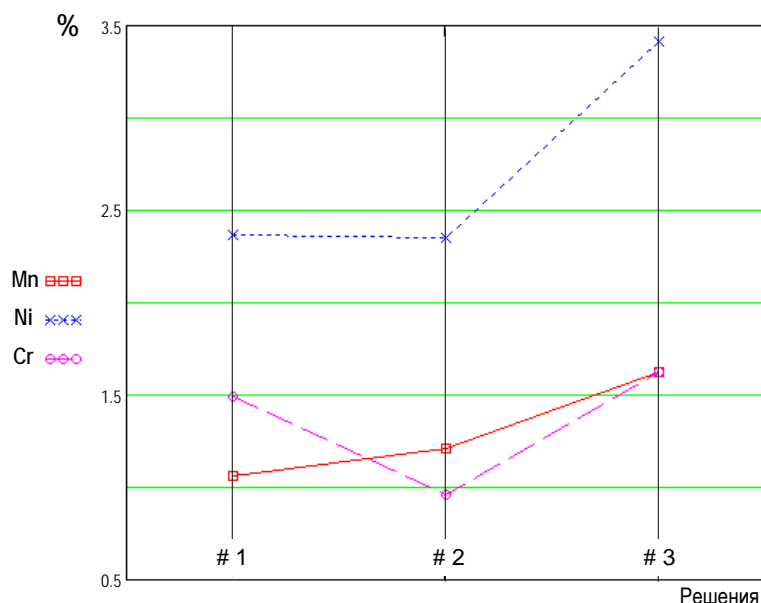
За основа на изследването е използвана база данни от 92 на брой сплави, поместени в [[http://www.splav.kharkov.com/choose\\_type.php](http://www.splav.kharkov.com/choose_type.php)]. В цитираната база от данни е поместена връзката между химическия състав и механичните характеристики на включените сплави. Диапазонът на изменение на елементите е посочен в табл. 2., а в табл. 3 са посочени стойностите, в които варират механичните показатели в термообработено състояние – закаляване и нискотемпературно отвърщане.

Таблица 2. Диапазон на изменение на елементите от състава на изследваните стомани.

Елемент	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	Mo	V
min [%]	0.12	0.27	0.27	0	0.025	0.025	0.15	0	0
max [%]	0.5	1.4	1.6	4.22	0.035	0.035	2.5	1.5	0.15

Таблица 3. Диапазон на изменение на характеристиките на изследваните стомани

Механична характеристика	Rm [MPa]	Re [MPa]	A [%]	Z [%]	Kcu [K J / m <sup>2</sup> ]	HB*10 <sup>-1</sup> [MPa]
min	500	300	7	30	290	179
max	1670	1375	26	70	1830	541



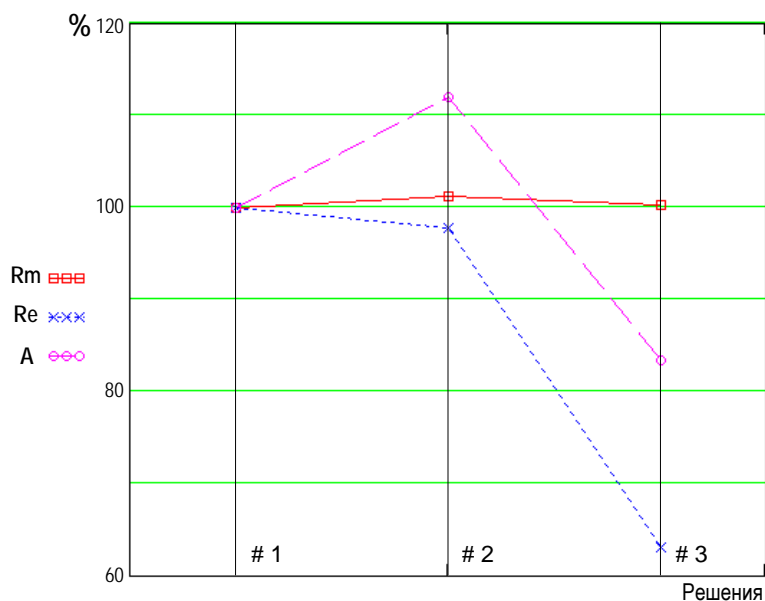
**Фиг.5. Изменение на количеството на мангана, никела и хрома при изследваните решения**

В резултат от описаната многокритериална изчислител-на процедура в [7] е определено решение #1 (табл. 4.) характеризиращо се с иконо-мично легиране, получено чрез оптимизацията на невронен модел. Това решение може да бъде сравнено с решенията #2 и #3, получени при оптимизацията на регресионите модели, следвайки прилагането на подхода, описан в [1]. На фиг. 5 и 6 е посочена графична интерпретация на решенията представени в табл.4. по отношение на основните легиращи елементи Mn, Ni, Cr и характеристиките Rm, Re, A.

При сравняването на решенията от резултатите получени чрез невронния модел и регресионните модели в относителни единици по отношение на решение #1 (фиг.6) се констатира, че състава определен от решение # 2 е по-подходящ за практическо приложение, поради относително по-добрата си пластичност. При него единствено е констатирано понижение на границата на провлачване с около 3 процента.

**Таблица 4. Оптимални състави максимизиращи границата на провлачване**

Решение	#1	#2	#3
С	0.27	0.3	0.3
Si	1.10	1.02	0.9
Mn	1.06	1.2	1.62
Ni	2.36	2.35	3.41
S	0.02	0.02	0.02
P	0.02	0.02	0.02
Cr	1.04	0.96	1.6
Mo	0.15	0.18	0.2
V	0.0087	0.0087	0.015
<b>Rm [MPa]</b>	<b>1666.9</b>	<b>1678.</b>	<b>1669.9</b>
<b>Re [MPa]</b>	<b>1370.3</b>	<b>1355</b>	<b>1125</b>
<b>A[%]</b>	<b>11.4</b>	<b>12.8</b>	<b>14.6</b>
<b>Z[%]</b>	<b>51.1</b>	<b>52.3</b>	<b>53.8</b>
<b>HB [/]</b>	<b>281.6</b>	<b>284.3</b>	<b>273.8</b>



**Фиг. 6. Изменение на относителната якост на опън, граница на провлачване и удължението за изследваните решения**

#### 4. Заключение:

В изследването е обобщена информацията относно означенията, структурата и свойствата на стоманите с приложение в автомобилната промишленост. Препоръчан е подход за проектиране на състав и подходящо обработване, подобряващо механичните им и пластични свойства. Чрез оптимизация на свойствата въз основа на химическия състав е запазена високите стойности на якостта на опън, границата на провлачване и е увеличено относителното удължение с около 12 %. В случай на експериментално потвърждение на това решение внедряването му в практиката ще се подобри деформируемостта на стоманите със състави, осигуряващи мартензитна структура.

#### ЛИТЕРАТУРА:

[1.] Tontchev N., S. Popov, P. Koprinkova-Hristova, S. Popova, Y. Lukarski Comparative study on intelligent and classical modelling and composition optimization of steel alloys, (Submitted for publication).

[2.] Takahashi M., Development of High Strength Steels for Automobiles, Nippon steel technical report No. 88 July 2003.

[3.] Ron Krupizer , presentation titled ‘Steel and Fuel Economy’.

[4.] Dong-Woo Suh, “Recent Development of Light-weighting Steels”, Graduate Institute of Ferrous Technology.

[5.] H. Takechi, Metallurgical Aspects on Interstitial Free Sheet Steel from Industrial Viewpoints, ISIJ International. Vol. 34 (1 994), No. 1, pp. 1-8.

[6.] Meyerd. M. Influence of the Substitution of Si by Al on the Properties of Cold Rolled C-Mn-Si TRIP Steels, ISIJ International, Vol. 39 (1 999), No. 8, pp. 813-822.

[7.] Тончев Н., П. Копринкова, С. Попова Върху възможността за прогнозиране на свойствата на високояки стомани при икономично легиране, конференция на факултет „Национална сигурност и отбрана”, Военна академия, 2011 под печат.