

**OȚELURI DE ÎNALTĂ REZISTENȚĂ
PENTRU COMPONENTE DE
CAROSERIE ALE AUTOMOBILELOR ȘI
CAPACITATEA DE DEFORMARE A
ACESTORA**

**HIGH STRENGTH STEEL FOR
AUTOMOTIVE PANELS AND THEIR
FORMABILITY**

M. STEFANOVIĆ*, S. ALEKSANDROVIĆ*, M. MILOVANOVIĆ, R. JEVTIĆ*****

*Faculty of Mechanical Engineering, Kragujevac, Yugoslavia

**Car Institute Zastava, Kragujevac, Yugoslavia

***Metallurgy Institute SARTID, Smederevo, Yugoslavia

REZUMAT/ABSTRACT

Dezvoltarea rapidă a industriei automobilelor în ultimele două decade a fost urmată de dezvoltarea intensă a materialelor pentru caroserii. Dezvoltarea și utilizarea de noi materiale a fost corelată cu nivelul general al cererii la nivel social, în ceea ce privește resursele economice, economia de energie, ecologia, securitatea conducerii etc. În această lucrare se discută aplicațiile tablei din oțel de înaltă rezistență în industria constructoare de automobile, sunt menționate sortimentele de tablă, sunt analizate restricțiile (mai ales problemele de revenire elastică) și testele de evaluare a capacității de deformare. Sunt prezentate rezultatele experimentale pentru un anumit tip de tablă cu diferiți parametri standard și speciali de deformabilitate, cu indicatorii limitei de deformare etc.

The quick development of car industry in the last few decades is followed by intensive development of materials of which autobodies are made. The development and usage of new materials are being coordinated with general social demands, regarding economic resources, energy saving, ecology, driving safety etc. In this paper, problems of application of high strength steel sheet in car manufacturing industry are considered, sheet categories are enumerated, restrictions are analysed (especially deflection problems), and tests for formability evaluation are presented. For a particular type of these sheets experimental results are presented, which contain standard and special parameters of formability, forming limit indicators etc.

Key words: High strength steel sheet, Deep drawing, Formability, Deflection

1. INTRODUCERE

Performanțele și funcțiile automobilului trebuie să se îmbunătățească având în vedere utilizarea rațională a materiilor prime și energiei, cât și necesitatea reducerii poluării mediului, creșterea confortului, a siguranței etc. Acestea se realizează prin reducerea greutateii caroseriei, modificarea armăturii și înlocuirea materialelor convenționale pentru caroserie cu unele mai ușoare. Materialele mai ușoare utilizate la fabricarea caroseriilor automobilelor sunt: tablă din oțel de înaltă rezistență (HSS), tablă din aluminiu, titan și aliajele acestora, tablă metalică tip "sandwich", compozite etc.

1. INTRODUCTION

Requirements of the society concerning the automobile performances and functions are becoming increasingly stringent, as a result of the need for rational use of raw materials and energy, as well as the need for lower environmental pollution, higher comfort, greater safety etc. Reduction of body weight, modification of supporting structure and replacement of the conventional body materials with the lighter ones are some of the possible ways for meeting the above requirements. The lighter materials used for manufacturing the automobile bodies are as follows: high strength steel sheet metals (HSS), sheet metals made of aluminium alloys, titan and its alloys,

Conceptul fundamental de selectare a acestor materiale utilizate la fabricarea caroseriilor implică respectarea următoarelor condiții [1]:

- costuri materiale și de producție scăzute,
- calitate și stabilitatea acesteia,
- aprovizionare constantă,
- caracteristici funcționale (efectul de reducere a greutății, caracteristicile de rezistență, rezistența la coroziune),
- productivitate în producția de serie (deformabilitatea, sudabilitatea și capacitatea de îmbinare, capacitatea de vopsire, nici o modificare în sistemul de producție convențional),
- capacitatea de degradare și de reciclare.

Din punctul de vedere al deformabilității, există numeroase probleme de fabricare a componentelor caroseriei utilizând materiale ușoare. În general, deformabilitatea materialelor ușoare este inferioară oțelurilor cu conținut scăzut de carbon. În acest caz, în afară de degradarea materialelor, apar defecte precum: denivelări, deformări superficiale și exfolieri. Caracteristicile dominante specifice componentelor exterioare sunt: rigiditatea, conservarea formei și calitatea suprafeței, în timp ce caracteristicile importante ale componentelor interioare sunt: rigiditatea anumitor componente presate și a întregii structuri, cât și rezistența la oboseală.

2. TABLĂ DIN OȚELURI DE ÎNALTĂ REZISTENȚĂ

2.1. Proprietăți de utilizare

Tabla din oțeluri de înaltă rezistență este frecvent utilizată în industria constructoare de mașini ca urmare a rigidității sale crescute și a greutății reduse (contribuind la reducerea greutății totale a unui model). Oțelurile de înaltă rezistență (HSS) permit fabricarea caroseriilor de automobile cu o rigiditate superioară și o greutate redusă, prezentând performanțe satisfăcătoare (acumularea de energie în caz de accident, confort sporit prin reducerea oscilațiilor etc). Oțelurile de înaltă rezistență au fost introduse prin anii '70 ca reacție la criza energetică, ele fiind utilizate pe o scară din ce în ce mai largă (figura 1), mai ales în uzinele producătoare de automobile din Japonia. Se apreciază că, (în conformitate cu [2]) actuala rată de utilizare a materialelor de înaltă rezistență care este de aproximativ 20% va crește în viitor la circa 43%. Totodată, greutatea caroseriei va scădea cu 10-20%.

“sandwich” sheet metals, composites etc. The basic concept of the standard selection of materials used for automobile bodies implies the satisfaction of following demands [1]:

- *low material and production costs,*
- *quality and its stability,*
- *stable supply,*
- *functional characteristics (lightening effect, strength characteristics, corrosion resistance),*
- *productivity in mass production (formability, weldability and jointability, paintability, no change of conventional production system),*
- *disposal and recycling.*

From the formability standpoint, there are numerous problems in manufacturing body parts using light materials. In general, formability of light materials is lower compared to low-carbon steels. In this case, in addition to material destruction, there are also problems in the form of wrinkles, surface deflections and springback. The dominant characteristics related to outer pressed parts are stiffness, shape fixability and surface quality, while the important features of the inner components are the stiffness of certain pressed parts and the complete structure, as well as the fatigue strength.

2. HIGH STRENGTH SHEET METALS

2.1. Application trends

High strength sheet metals are most frequently used in machine construction industry, because of their high stiffness and low weight (contributing to lower total weight of the specific design). HSSs enable production of automobile bodies with higher stiffness and lower weight, showing satisfactory performances (energy accumulation upon accidents, oscillatory comfort etc.). The initial use of HSS began in the '70s, as a response to the energy crisis, and its application continuously rising (figure 1), especially in the Japanese car factories. It is estimated that (according to [2]) the present share of HSS, which is equal to around 20%, will be increased in the future to almost 43%. Simultaneously, the body weight will be reduced by 10-20%.

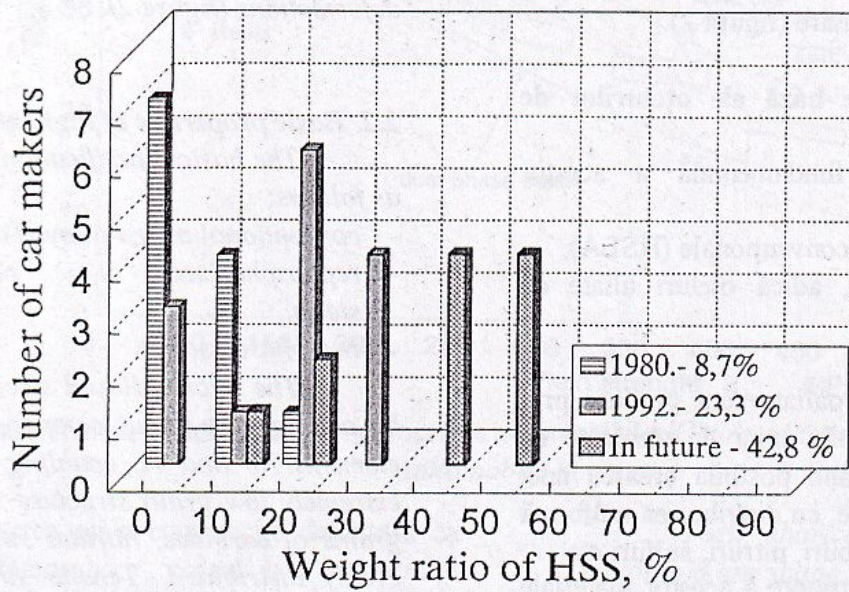


Fig. 1 Cota-parte a oțelurilor de înaltă rezistență în producția caroseriilor de automobile/HSS share in automobile body production

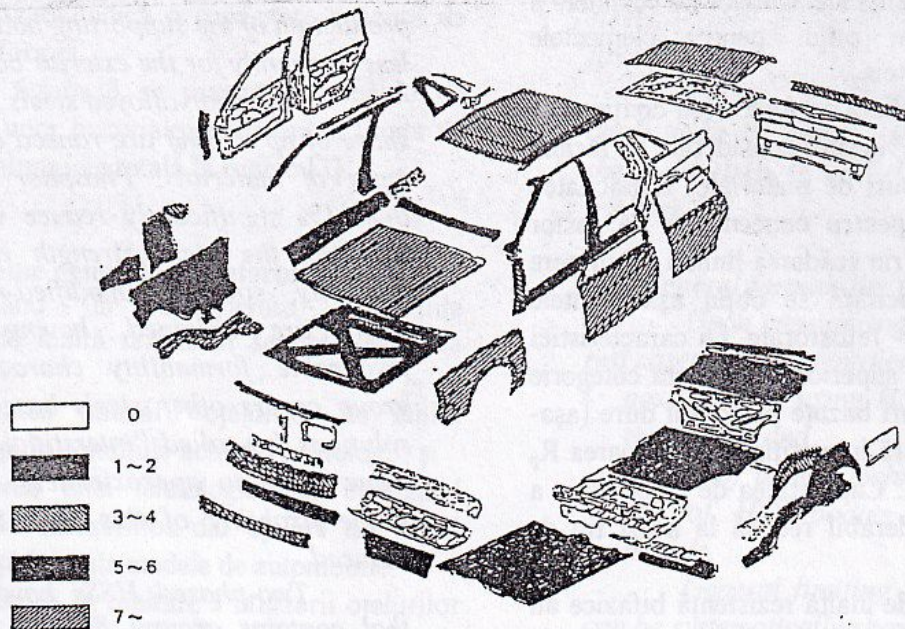


Fig. 2 Componente ale caroseriei fabricate din oțeluri de înaltă rezistență și numărul de firme producătoare de automobile/Locations of HSS use in automobile body production and number of car companies

Comparativ cu tabla din oțel convențional cu conținut scăzut de carbon pentru ambutisare adâncă, tabla din oțel de înaltă rezistență prezintă caracteristici de deformare nefavorabile și un preț superior la aceeași greutate. Ea este utilizată la fabricarea unor componente ale caroseriei care nu necesită un grad înalt de deformare (figura 2).

2.2. Proprietățile de bază ale oțelurilor de înaltă rezistență

Clasificarea fundamentală a acestor oțeluri este:

- oțeluri microaliante convenționale (HSLA),
- oțeluri refosforate, adică oțeluri aliate cu fosfor,
- oțeluri bifazice.

Oțelurile microaliante sunt produse prin adăugarea unor cantități mici de elemente de aliere, Nb și Ti, făcând posibilă crearea unei structuri granulare fine, cu distribuția uniformă a precipitatelor de carburi, nitruri, sulfuri etc.

Rezistența la rupere a acestor materiale se încadrează în intervalul 380 - 800 MPa, iar limita de curgere este de 280 - 500 MPa. Oțelurile din această grupă sunt caracterizate printr-un raport extrem de ridicat între limita de curgere și rezistența la rupere, o valoare relativ scăzută a coeficientului de anizotropie (factorul r), o ecruisare insuficientă (factorul n) și o plasticitate scăzută. Acestea sunt utilizate în principal la fabricarea elementelor de susținere a caroseriei și mai puțin pentru elementele exterioare ale acesteia.

Oțelurile aliate cu fosfor (cu conținut de fosfor de până la 1%) sunt considerate ca făcând parte din noile tipuri de materiale. Capacitatea de sudare scade pentru concentrații de fosfor mai mari de 1%. Prin scăderea limitei de curgere și creșterea plasticității se obțin așa-numitele oțeluri modificate - refosforate, cu caracteristici de deformabilitate superioare. Această categorie cuprinde alte oțeluri bazate pe soluții dure (așa-numitele oțeluri fără interstițiali) cu valoarea R_p de circa 150 MPa. Capacitatea de conservare a formei este considerabil redusă la acest tip de oțel.

Oțelurile de înaltă rezistență bifazice au în structura lor 80-90% perlită și 10-20% martensită și o cantitate redusă de austenită. Ele au proprietăți de ecruisare extraordinare și, prin urmare, o capacitate de îmbătrânire înaltă.

Compared to conventional low-carbon sheet metals for deep drawing, these sheet metals have unfavourable formability characteristics and higher price for the same weight. They are used for manufacturing body parts that do not require a high degree of deformations (figure 2).

2.2. Basic properties of high strength steels

The basic classification of these steel is as follows:

- *conventional micro-alloyed ones (HSLA),*
- *rephosphorized, i.e. phosphor-alloyed steels,*
- *two-phased steels.*

The micro-alloyed steels are produced by adding very small components of alloying elements Nb and Ti, enabling the creation of extremely low grain structure where extracted grains of carbides, nitrides sulphides etc. are evenly distributed. Tensile strength of these materials is found in the wide range of 380-800 MPa, and the yield strength occurs in the range of 280-500 MPa. The steels in this group are characterized by extremely high ratio between the yield strength and tensile strength, relatively low value of anisotropy coefficient (r -factor), insufficient strain hardening (n -factor) and low plasticity. They are mainly used for production of the supporting body elements and less frequently for the exterior body parts.

Phosphor-alloyed steels (with phosphor share of up to 1%) are ranked among the new types of materials. Phosphor shares higher than 1% significantly reduce weldability. By lowering the yield strength and increasing plasticity, so-called modified-rephosphorated steels are obtained, having much more favourable formability characteristics. This group covers other steels based on the hard solutions (so-called "interstitial free") with R_p value equal to approximately 150 MPa. The shape fixability of this steel is significantly reduced.

Two-phased HSSs have the structure that contains around 80-90% of ferrite and about 10-20% of martensite and outstanding austenite mixture. They have extraordinary strain hardening properties and very high subsequent ageing capacity.

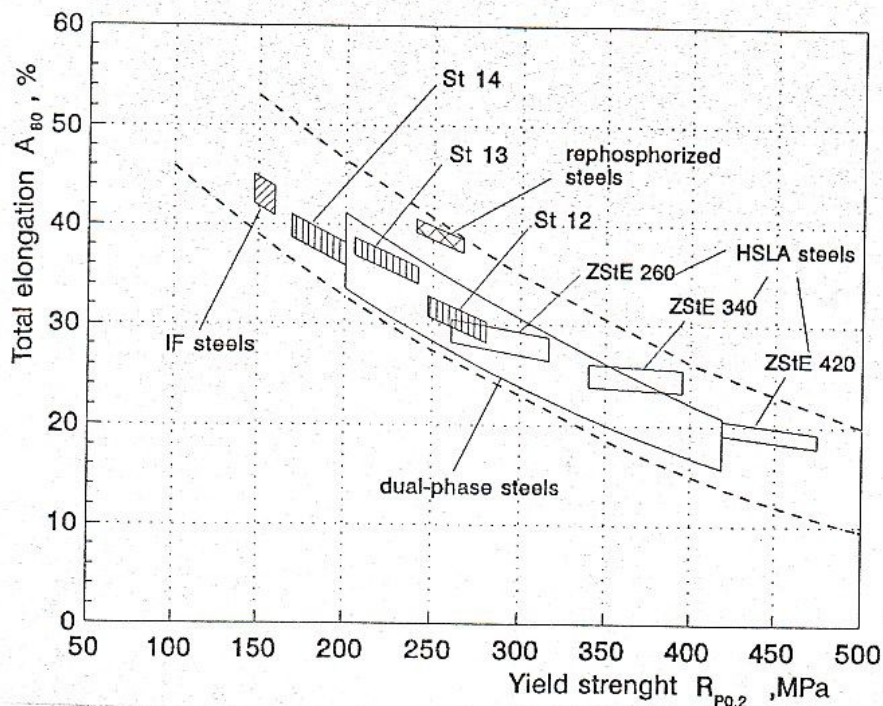


Fig. 3 Caracteristicile tablei utilizate la caroseriile automobilelor/Characteristics of sheet metals used for automobile bodies

Acestea au o comportare deficitară ca urmare a factorului r , scăzut și a capacității reduse de conservare a formei.

Oțelurile bifazice și refosforate prezintă o tendință de îmbătrânire intensivă chiar la 200°C care determină o durificare la coacere a componentelor caroseriei, după operația de presare, în faza de uscare după vopsire. Aceasta servește la compensarea parțială a deficienței fundamentale a acestor oțeluri - limita de curgere scăzută, adică o capacitate scăzută de păstrare a formei.

În figura 3 se prezintă domeniile de aplicație a unor materiale, considerând limita de curgere și alungirea totală la rupere [3].

2.3. Probleme generale de deformabilitate

Luând în considerare aplicațiile oțelurilor de înaltă rezistență se pot identifica două cazuri:

- posibilitatea utilizării oțelurilor de înaltă rezistență în condițiile actualei tehnologii, și
- proiectarea unei tehnologii noi, incluzând utilizarea caroseriilor din oțeluri de înaltă rezistență la noile modele de automobile.

Factorii de limitare a utilizării oțelurilor de înaltă rezistență sunt determinați de următoarele caracteristici [4]:

- rezistența la rupere,
- conservarea formei,
- capacitatea de asamblare.

Their shortcoming relates to low r -factor and low shape fixability.

Two-phased and rephosphorated steels exhibit intensive ageing already at the temperature of 200°C , which enables additional, so-called "bake-hardening" of the body parts which occurs after pressing operation in the painting and baking phase. This serves as the means for partial compensation of the basic shortcoming of these steels - low yield strength, i.e. low shape fixability.

Figure 3 illustrates the areas of application of certain materials, considering the yield strength and the total elongation at fracture [3].

2.3. General formability problems

Upon considering the HSS application, two cases can be identified:

- *possibility of using HSS within the existing technology and*
- *design of a new technology, including the use of HSS bodies in new automobile models.*

General limiting factors in using HSS can be systematically shown as the group of the following characteristics [4]:

- *fracture resistance,*
- *shape fixability*
- *fittability.*

Deformarea până la rupere se realizează cu succes într-o zonă largă situată sub curba de deformare limită, fenomen deosebit de studiat în cadrul oțelurilor cu conținut scăzut de carbon pentru tablă. Oricum, ultimele două cerințe sunt caracteristice pentru oțelurile de înaltă rezistență și evidențiază proprietățile de revenire elastică.

În acest caz, revenirea elastică este răspunzătoare de apariția defectelor geometrice superficiale la componentele presate, sub formă de: concavități, convexități, ondulații ușoare, precum și de alte defecte rezultate în urma revenirii elastice etc. În figura 4 se evidențiază defectele constatate la componentele presate din oțeluri de înaltă rezistență, la o serie de companii de automobile din Japonia. [1].

Proprietățile de conservare a formei se referă la capacitatea materialului de a păstra forma și dimensiunile după deformare și îndepărtarea sculei de prelucrare. Conservabilitatea se referă la capacitatea materialului de a păstra contactul cu suprafețele active ale sculei în timpul prelucrării.

Proprietățile de revenire elastică sunt testate în mod frecvent pe modele în condiții de laborator. Modelele sunt utilizate la simularea condițiilor de deformare sub tensiune neomogenă în anumite segmente ale componentei presate. Așa-numitul test Yoshida este un test convențional care include încercarea la tracțiune aplicată unor probe pătrate (pe diagonală) sau triunghiulare (pe latura cea mai mare).

Successful forming until fracture covers a wide area of forming limit, exceptionally studied at the conventional low-carbon steel sheet metals. However, the last two requirements are characteristic of HSS and feature the deflection properties.

In this case, deflection covers creation of surface geometrical defects at pressed parts in the form of: concavities, convexities, mild waves, as well as inaccuracies as a result of elastic recovery etc. The figure 4 shows the defects found on HSS pressed parts in several automobile companies in Japan [1].

Shape fixability properties refer to the material capability to keep the shape and dimensions it had upon processing after forming and removal from the tool. Fittability refers to the material capability to keep contact with the tool contact surfaces during processing.

Deflection properties are most frequently tested in the laboratory conditions on the models, which are used for simulating non - homogeneous tension - deformation condition in certain segments of the part being pressed. Conventional testing in this area is the so-called "Yoshida-test", which includes the tensile test of the square (diagonal) or triangle test piece (on the longest side).

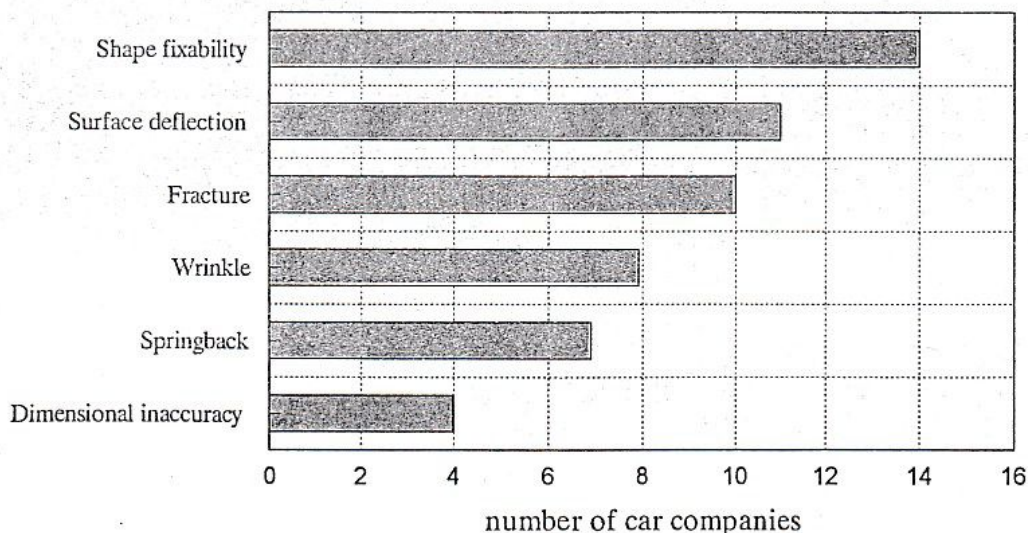


Fig.4 Probleme apărute în procesele de deformare a oțelurilor de înaltă rezistență/*Problems of HSS in forming processes*

Înălțimea ondulației formate pe direcția de tracțiune ilustrează tendința de revenire elastică [5].

Problemele fundamentale ce apar la prelucrarea oțelurilor de înaltă rezistență sunt:

- probleme de ajustare a mașinii ca rezultat al reducerii spațiului de acțiune a forței de fixare a tablei, din cauza apariției ondulațiilor și a ruperilor,
- așa-numita uzură prin frecare,
- deformarea dificilă comparativ cu oțelurile cu conținut scăzut de carbon,
- număr crescut de componente pentru prelucrare ulterioară,
- număr crescut al intervențiilor de recondiționare a sculelor,
- putere insuficientă a preselor.

Prin reducerea grosimii benzii cresc cheltuielile materiale și de procesare și scade sudabilitatea și capacitatea de păstrare a formei. Pentru fabricarea cu succes a componentelor din oțeluri de înaltă rezistență se recomandă:

- ajustarea spațiului dintre poanson și matriță,
- pentru a reduce uzura se recomandă efectuarea unei selecții speciale a materialelor, a sculelor de prelucrare a suprafeței și a lubrifianților,
- schimbarea procesului de deformare (predeformare suplimentară în zonele critice),
- aplicarea de paturi de ambutisare,
- defalcarea pe mai multe operații,
- optimizarea formei semifabricatului etc.

3. CERCETĂRI EXPERIMENTALE

Pe baza unor analize detaliate a posibilităților de utilizare a oțelurilor HSS pentru tablă la caroseria automobilelor ZASTAVA s-au ales multe componente la care nu se așteaptă apariția problemelor menționate anterior la deformare prin ambutisare adâncă: capotă de motor ramforsată, panou frontal, stâlp pentru uși etc. [6].

3.1. Caracteristicile materialelor

La fabricarea noilor tipuri de tablă la oțelăriile SARTID s-au dat instrucțiuni detaliate și s-a elaborat o probă experimentală cu următoarea compoziție chimică: 0,045%C;

Height of the wrinkle formed in the direction of tensile testing illustrates the deflection trend [5].

Basic problems concerning HSS processing relate to:

- *problems with machine adjustment as a result of narrowing the working area of the blank holding force, due to the occurrence of wrinkles, i.e. fracture,*
- *so-called "galling",*
- *difficult forming compared to low-carbon sheet metals,*
- *increased number of parts for rework,*
- *increased number of interventions in tool maintenance,*
- *insufficient power of individual machines.*

Besides, the material and process costs were increased, weldability and shape fixability were decreased, as a result of reduced sheet metal thickness. In order to manufacture the HSS parts successfully, the following actions are recommended:

- *adjustment of gap between the punch and die,*
- *in order to reduce galling, it is recommended to make special selection of materials and surface treatment for tools and lubricants,*
- *change in the forming process (additional performing in the critical areas).*
- *application of draw beads,*
- *division to more operations,*
- *optimization of blank shape, etc.*

3. EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS

On the basis of detailed analysis of the area of possible HSS sheet metals application on autobodies of ZASTAVA's automobiles, many parts have been chosen, for which aforementioned problems in forming by deep drawing are not expected: motor hood with strengthening, front outer fender, door pad etc. [6].

3.1. Characteristics of materials

In making new types of steel sheet metals in ironworks SARTID, detailed instructions were made and experimental sample was produced with following chemical structure: 0.045% C; 0.09% Si; 0.226% Mn;

0,09% Si; 0,226% Mn; 0,078% P; 0,01% S; 0,05% Cu și având greutatea de 400 kN. Semifabricatul inițial a fost obținut prin laminare la cald la dimensiunile 22,5 x 1280 mm conform prescripțiilor, apoi prin laminare la rece la dimensiunile 0,7 x 1200 mm. După laminarea la rece s-au aplicat două regimuri diferite de recoacere:

- recoacerea clasică la $t = 685^{\circ}\text{C}$, timp de 20+22 ore (material PHZ 260),
- recoacerea peste linia PSK la $t = 722^{\circ}\text{C}$, timp de 20+22 ore (material PHZ de durificare prin recoacere).

Recoacerea de durată la 722°C și laminarea la rece a acestor oțeluri au de asemenea un efect de durificare prin recoacere. Altfel spus, precipită carburi de Fe_3C mari, dispersate, ceea ce determină reducerea numărului de centre de cristalizare de desolubilizare a carbonului, o cantitate mai mare de carbon rămânând astfel în soluție [7].

În afară de aceste materiale în curs de cercetare, s-a utilizat tablă din oțeluri clasice cu conținut scăzut de carbon calmate cu aluminiu C0148P5 cât și tablă metalică durificată prin recoacere din import, marca CHR35BH.

Caracteristicile acestor materiale sunt evidențiate în Tabelul I.

0,078% P; 0,01% S and 0,05% Cu; weighing 400 kN. Then starting pieces were hot rolled to dimensions 22.5x1280 mm, according to regulations, and then cold rolling was carried out to dimensions 0.7x1200 mm. After cold rolling two different regimes of annealing were applied:

- classic annealing, $t=685^{\circ}\text{C}$, lasting 20+22 h (material PHZ 260),
- annealing above PSK line, $t=722^{\circ}\text{C}$, lasting 20+22 h (material PHZ BH).

Long-lasting annealing at 722°C and cold rolling provide BH effect in these steels as well. In other words, in course of that, large Fe_3C carbides at long distance are made, thus causing the reduction of number of crystallization centers for extraction of C and so, more C remains in the solution [7].

Beside these materials, in course of investigation, classic low-carbon steel sheet metal killed by aluminium C0148P5 was used, as well as BH sheet metal of foreign producer marked CHR35BH.

Characteristics of these materials are quoted in Table I.

Tabel I/ Table I

R. br.	Material/Material	R_p MPa	R_M MPa	A_{80} %	n	r	s mm
1	PHZ260	256	363	37	0.20	1.75	0.7
2	CHR35BH	222	349	33	0.20	1.81	0.7
3	PHZBH	207	340	36	0.20	1.85	0.7
4	C0148P5	177	313	36.3	0.235	1.51	0.7

În figura 5 sunt prezentate curbele paralele de ecrusare pentru materialele examinate, în faza de deformare prin ambutisare adâncă (fără îmbătrânire artificială).

3.2. Rezultatele cercetărilor

Modificarea proprietăților tablelor durificate prin recoacere a fost realizată în laborator prin încălzirea probelor la temperatura de 170°C , timp de 20 minute, ceea ce corespunde condițiilor de uscare a vopselei caroseriei auto. S-au obținut următoarele caracteristici:

PKZBH: $R_p=288.3\text{ MPa}$, $R_M=353\text{ MPa}$,
CHR35BH: $R_p=299.3\text{ MPa}$, $R_M=373\text{ MPa}$.

Parallel strengthening curves for examined materials, in phase of forming by deep drawing (without artificial ageing), are given in figure 5.

3.2. Results of investigation

The change of qualities of BH sheet metals was determined in laboratory, by heating specimens at the temperature of 170°C , in period of 20 minutes, which corresponds to the condition of paint baking on autobody. In course of that the following characteristics were obtained:

PKZBH: $R_p=288.3\text{ MPa}$, $R_M=353\text{ MPa}$,
CHR35BH: $R_p=299.3\text{ MPa}$, $R_M=373\text{ MPa}$.

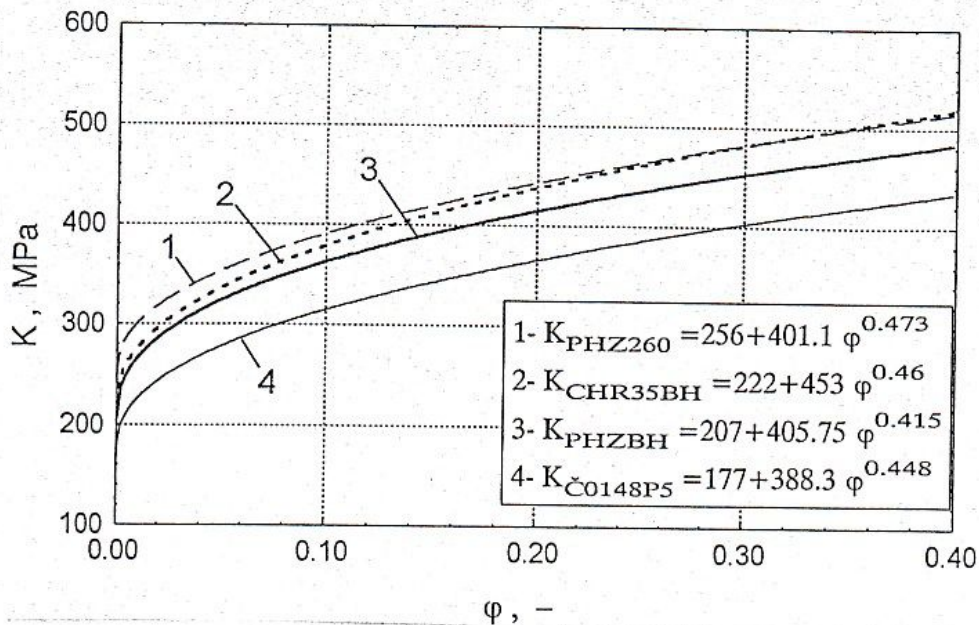


Fig. 5 Curbele de ecrusare ale materialelor cercetate/Strengthening curves for investigated materials

S-a studiat pe diferite modele, în condiții de laborator, tendința de revenire elastică care simulează condițiile de deformare reală. Testul Yoshida este un test fundamental efectuat pe o epruvetă pătrată prin aplicarea unei tensiuni uniaxiale. La nivelul epruvetei se obține un domeniu tensiune-deformație neomogen, iar ondulațiile apar de-a lungul diagonalei principale. Înălțimea ondulației (figura 6) constituie valoarea de bază măsurată și este un indicator al tendinței de deflecție.

În afară de epruvete pătrate pot fi utilizate și epruvete triunghiulare, circulare etc. Ondulațiile care se formează în zona elastică sunt în general determinate de deformarea pe direcție transversală raportată la direcția tensiunii aplicate. Deformarea crește odată cu scăderea lățimii epruvetei.

În figurile 7 și 8 se prezintă rezultatele cercetărilor de deflecție pentru diferite materiale.

Este evidentă creșterea deflecției proporțional cu limita de curgere. O astfel de evaluare generală nu este suficientă și trebuie să fie urmată de rezultatele de ambutisare adâncă în condiții reale. Prin urmare, geometria piesei de prelucrat, construcția sculelor, condițiile tribologice sunt foarte importante. Cu ajutorul curbilor limită de deformare (FLD) se descrie în mod specific capacitatea tablei de a fi deformată succesiv prin ambutisare adâncă. În figura 9 se prezintă diagrame standard obținute prin metoda Nakazima.

Tendency to deflection in laboratory conditions is most often examined by different kinds of modelling, which simulates strain relations in real forming. The basic examination of this kind is so called Yoshida-test of single-axis tension of square specimen. In course of that, unhomogeneous stress-strain field is realized in specimen and wrinkle is formed along main diagonal. Wrinkle height (figure 6) is the basic measuring value and indicator of tendency to deflection.

Beside square specimens, it is possible to use those of different shape - triangular, circular, etc. Wrinkles, which begin in the elastic area are mostly caused by stress in transversal direction in relation to the tension direction. This stress increases with the decrease of specimen tightening width.

Figures 7 and 8 show the results of deflection investigation for particular materials.

The increase of the amount of deflection along with the increase of the yield strength is obvious. Such general evaluation is not sufficient, but has to be supplemented with results of deep drawing in real conditions. Work piece geometry, tool construction, tribological conditions etc. are extremely important then. Ability of sheet metal to be successfully formed in deep drawing, is described in specific way by forming limit diagrams (FLD). Figure 9 shows such diagrams, obtained by standard manner. by Nakazima procedure.

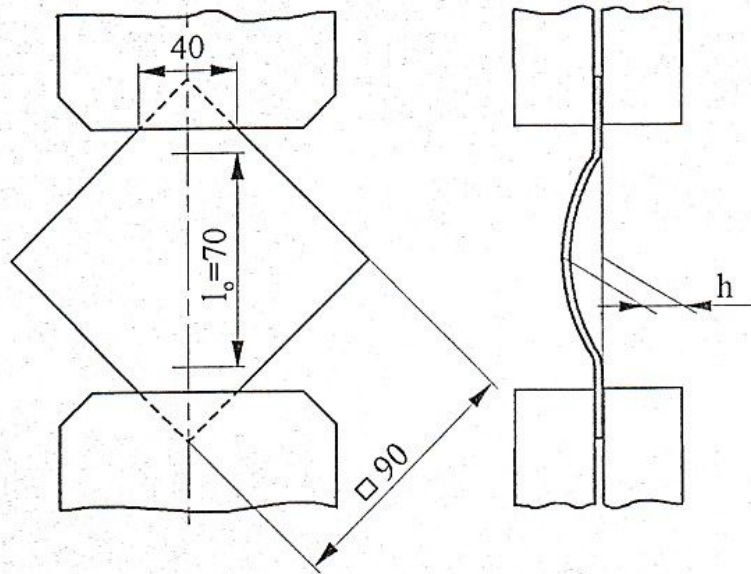


Fig. 6 Schema de studiu a revenirii elastice/Scheme of deflection investigation

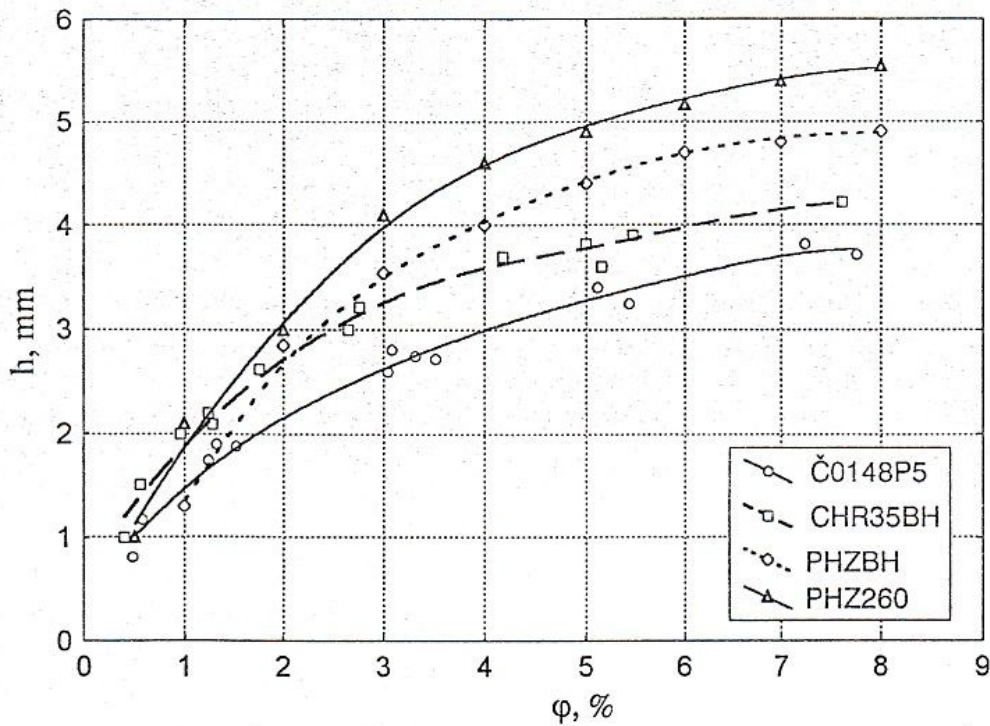


Fig. 7 Dependența înălțimii ondulației de gradul de deformare/Wrinkle height dependence on the degree of strain

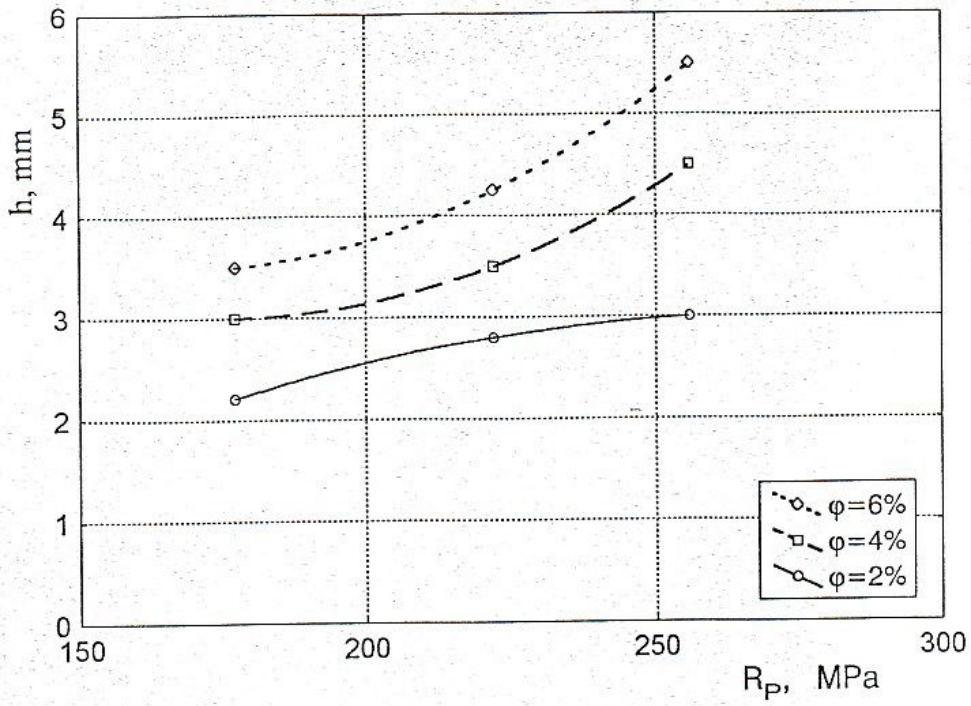


Fig. 8 Dependența înălțimii ondulației de limita de curgere/Wrinkle height dependence on the yield strength

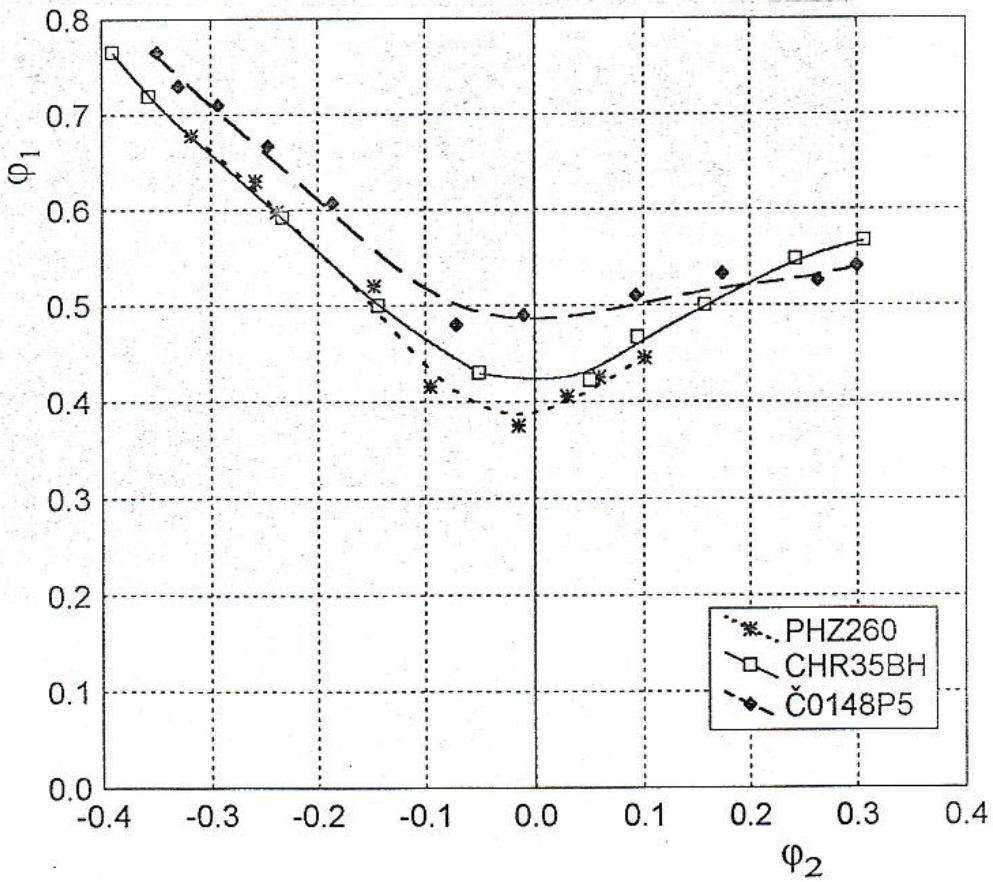


Fig. 9 Curbele limită de deformare pentru diferite materiale/FLD for different materials

S-au utilizat poansoare semisferice cu diametrul de 50 mm și epruvete de diferite lățimi. Curbele date definesc relațiile la rupere. În zona semnificativă pentru ambutisare adâncă, curbele pentru tabla din oțel de înaltă rezistență se situează sub curba specifică tablei clasice din oțel cu conținut scăzut de carbon.

Se cunoaște din teoria deformabilității tablei că curbele limită de deformare (FLD) au pentru diferitele sortimente de tablă din oțel formă și poziție similare în sistemul de coordonate al deformațiilor principale. Diferențele esențiale în ceea ce privește deformarea limită apar în timpul introducerii valorilor de deformare reale într-o diagramă a curbelor limită de deformare valabilă. De exemplu, în zona întinderii, valoarea celei de a II-a deformații principale influențează în principal realizarea unei deformări principale maxime.

Valoarea îndreptării elastice (unghiul de revenire elastică) în cercetarea pe model prin încovoiere (figura 10) poate servi ca indicator al capacității de conservare a formei după scoaterea din matriță.

Semispherical punch with 50 mm diameter and specimens of different width were used. The given curves define relations in fracture. In the area significant for deep drawing, curves for HSS lie below the curve for classic low carbon sheet metal.

In theory of sheet metals formability it is well known that FLDs for different qualities of steel sheet metals have similar shape and position in main strains system. The essential differences concerning limit forming appear during the input of truly realized strains in to valid FLD. For example, in the area of stretching, the value of second main strain essentially influences the realization of maximal main strain.

The value of elastic strengthening (the angle of springback) in model investigation by bending (figure 10) can also serve as indicator of shape fixability after exiting out of a tool.

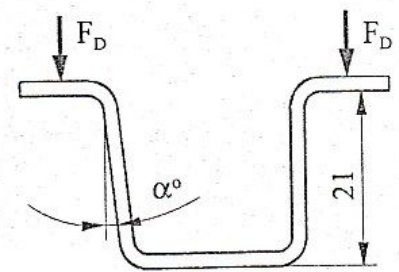
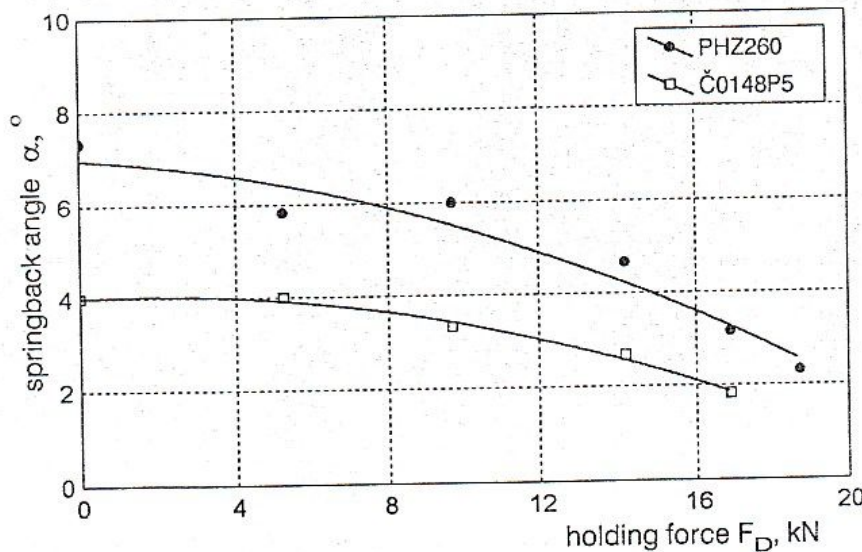


Fig. 10 Îndreptarea elastică după încovoierea cu 2 "unghiuri"/Elastic straightening in two-angle bending

Pentru a ambutisa noi materiale în condiții industriale, așa cum s-a menționat, se utilizează echipamentele și tehnologia existente. În loc de tablă de 0,9 și 0,8 mm grosime, s-a utilizat tablă de 0,8 și 0,7 mm grosime pentru capotă și elementele de ranforsare. A fost necesară ajustarea forței de presare și schimbarea schemei de lubrifiere. La materialul PHZ260 s-au mărit câteva raze de încovoiere pentru care a fost necesară o finisare adecvată. Nu s-au semnalat modificări notabile la utilizarea tablei durificate prin recoacere față de materialul standard. S-au fabricat cu succes diferite componente fără probleme deosebite atât în ceea ce privește operația de sudare cât și operația de protecție a suprafeței. Sunt în curs de desfășurare teste de exploatare cât și de cercetare a rigidității caroseriilor cu componente nou realizate.

Se vor fabrica în continuare din tablă de oțel de înaltă rezistență componente cu geometrie complexă, astfel crescând influența deflexiei în ambutisarea adâncă.

4. CONCLUZII

Tabla din oțel de înaltă rezistență are o aplicabilitate excepțională în industria automobilelor care cunoaște o creștere continuă, în special în țările cu industrie avansată. Ca urmare a deformabilității mai scăzute, acest tip de tablă este utilizat la fabricarea componentelor cu un grad de ambutisare redus și cu geometrie simplă.

Principalele avantaje ale utilizării oțelurilor de înaltă rezistență sunt:

- reducerea greutății automobilului;
- creșterea siguranței pasive;
- îmbunătățirea rezistenței la îndoire etc.

Dezavantajele sunt:

- apariția revenirii elastice;
- schimbarea condițiilor tribologice;
- forță de presare insuficientă etc.

Conform cercetărilor de laborator, tabla din oțel de înaltă rezistență prezintă valori superioare ale caracteristicilor de rezistență, cu curbe limită de deformare similare și o tendință mai accentuată la revenire elastică. Raportul parametrilor de revenire elastică corespunde raportului caracteristicilor de ecrusare. Tabla durificată prin recoacere prezintă proprietăți convenabile la deformarea prin ambutisare

In drawing new materials in industrial conditions, as it has been mentioned, existing tool and technology are used. Instead of sheet metals 0.9 and 0.8 mm thick, HSS sheet metals 0.8 and 0.7 mm thick were used for hood and strengthening. In course of that it was necessary to adjust the holding force and to change the scheme of lubrication. At the material PHZ260, some bending radii were increased, which demanded appropriate finishing. In using BH sheet metals there were noticeable changes in relation to the standard material. Parts were obtained successfully, with no particular problems either in the operation of welding or in the operation of surface protection. Tests in exploitation are in progress, as well as investigation of stiffness of autobodies with new built in parts.

In further parts production out of HSS sheet metals, parts of more complex geometry will be included, which will lead to more prominent influence of deflection in deep drawing.

4. CONCLUSIONS

High strength steel sheet metals have exceptional application in car industry which is constantly growing, especially in developed industrial countries. Because of reduced formability qualities they are used for obtaining parts with low degree of drawing and simple geometry.

The basic advantages of using HSS are:

- reduction of autobody weight;
- increase of passive safety;
- improvement of sagging resistance etc.

Its disadvantages are:

- the appearance of deflection;
- change of tribological conditions;
- insufficient holding force etc.

According to laboratory researches, HSS sheet metals have higher values of strength characteristics, with similar FLD and more prominent tendency to deflection. The ratio of deflection parameters corresponds to the ration of strengthening characteristics. BH sheet metals have convenient qualities in forming by deep drawing with strengthening to

adâncă cu durificare de până la 18% care este realizată în timpul uscării vopselei pe caroserie.

Pentru o evaluare completă a aplicabilității acestor materiale este necesară luarea în considerare a neomogenității domeniilor tensiune-deformare la ambutisarea adâncă a componentelor complexe.

18% which is realized during paint baking on autobody.

For total insight into possibilities of application of these materials, it is necessary to carry out production researches as well, considering the unhomogeneity of stress-strain fields in deep drawing of complex parts.

BIBLIOGRAFIE/REFERENCES

- [1] **HAYASHI H., NAKAGAWA T.:** *Recent trends in sheet metals and their formability in manufacturing automotive panels*, Journal of Material Processing Technology, 46 (1994), 455-487
- [2] **HAYASHI H.:** *Forming technology and sheet materials for weight reduction of automobile*, 19th IDDRG Biennial Congress, Eger, 1996, Proceedings, 13-31
- [3] **JACOBI W.:** *Development trends in bodywork manufacture with the focus on new technologies and materials*, Advanced Technology of Plasticity, Stuttgart, 1987, Proceedings, XXXI-XLVIII
- [4] **DEVEDŽIĆ B.:** *The circumstances impending wider use of high strength car body sheet metal and pointing toward new technological solutions*, XIX Yugoslav Conf. of Production Engineering, Kragujevac, 1985, Proceedings, 142-150 (in serbian)
- [5] **STEFANOVIĆ M., ALEKSANDROVIĆ S.:** *Formability of high strength steel sheet*, ISC Heavy Machinery, Kraljevo, 1996, Proceedings 4228-4233 (in serbian)
- [6] **MILOVANOVIĆ M.:** *Research of the design parameters effects to the behaviour and modeling of the passenger car body under the static loading conditions*, Monograph, Automobile Institute Zastava, Kragujevac, 1996, 14-20 (in serbian)
- [7] **STEFANOVIĆ M., MILOVANOVIĆ M., JEVTIĆ R.:** *Characteristics application of HSS sheet metals in car industry*, X Congress of Yugoslav Rolling Mills, Beograd, Proceedings, 42-46 (in serbian)