

## OBSAH

	strana
<b>Seznam použitých značek a symbolů</b> .....	11
<b>Předmluva</b> .....	21
<b>1 Základní metalurgické faktory ovlivňující tvářitelnost plechu</b> .....	25
1.1 Chemické složení .....	25
1.2 Mikrostruktura a mikročistota .....	25
1.3 Textury plechů .....	26
1.4 Anizotropie plechů .....	27
1.5 Stárnutí ocelí .....	28
1.5.1 Stárnutí po rychlém ochlazení .....	30
1.5.2 Stárnutí po tváření zastudena .....	31
1.5.3 Možnosti snížení vlivu stárnutí .....	35
1.5.4 Zaručování hodnot mechanických vlastností plechů .....	36
<b>2 Volba plechu pro výrobu výtahů</b> .....	37
<b>3 Hodnocení vhodnosti plechů k tažení</b> .....	39
3.1 Způsoby zkoušení plechů podle ČSN .....	39
3.2 Způsoby zkoušení plechů podle DIN .....	40
<b>4 Základní zkoušky tvářitelnosti plechů</b> .....	41
4.1 Umístění a příprava zkušebních vzorků a zkušebních těles .....	41
4.2 Jakost povrchu plechu .....	43
4.3 Stav povrchu plechu .....	43
4.4 Metalografické hodnocení tenkých plechů .....	44
4.4.1 Příprava vzorků .....	44
4.4.2 Vyhodnocení mikročistoty .....	45
4.4.3 Posouzení mikrostruktury .....	45
4.4.4 Stanovení velikosti feritického zrna .....	45
4.4.4.1 Srovnávací metoda .....	46
4.4.4.2 Lineární metoda .....	46
4.5 Posouzení rovnoměrnosti velikosti feritických zrn .....	47
4.6 Vyhodnocení tvaru feritických zrn .....	47
4.7 Metalografické hodnocení cementitu v ocelích .....	48
4.8 Vyhodnocení řádkovitosti struktury .....	48
4.9 Zkouška tahem .....	48
<b>5 Napodobující zkoušky</b> .....	54
5.1 Zkouška hloubením dle Erichsena .....	56

5.2 Zkouška kalíškovací .....	58
5.3 Zkouška Engelhardtova - Grossova .....	58
5.4 Zkouška rozšiřováním otvoru podle Siebela a Pompa .....	59
5.5 Zkouška tažením v kuželové tažnici (Fukui) .....	60
5.6 Zkouška lámavosti .....	60
<b>6 Nekonvenční kritéria hodnocení tvářitelnosti plechů .....</b>	<b>64</b>
6.1 Součinitelé plošné anizotropie mechanických vlastností plechů .....	64
6.2 Součinitelé plastické anizotropie .....	66
6.3 Exponent deformačního zpevnění .....	69
6.4 Souhrnné hodnocení tvářitelnosti plechů podle součinitele plastické anizotropie a exponentu deformačního zpevnění .....	76
<b>7 Diagramy mezních deformací anizotropních hlubokotažných plechů .....</b>	<b>78</b>
7.1 Experimentální metody určování diagramů mezních deformací .....	82
7.1.1 Zkouška tahem zkušebních tyčí opatřených vruby .....	82
7.1.2 Hydraulická zkouška .....	83
7.1.3 Vypínání těles proměnné šíře polokulovým tažníkem .....	83
7.1.3.1 Vypínání zkušebních těles v podobě pruhů proměnné šíře .....	84
7.1.3.2 Vypínání tvarově upravených zkušebních těles proměnné šíře .....	84
7.1.4 Určování mezní deformace .....	87
7.2 Početní metody určování diagramů mezních deformací .....	89
7.2.1 Metoda vycházející z kritéria ztráty stability na pevnosti v tahu .....	89
7.2.2 Metoda vycházející z kritéria lokálního ztenčení plechu .....	95
7.2.3 Metoda vycházející z kritéria porušení plechu tvárným lomem .....	95
7.3 Porovnání diagramů mezních deformací získaných experimentálními a početními metodami .....	99
<b>8 Přímé metody zkoušení plechu .....</b>	<b>101</b>
8.1 Metoda deformačních sítí .....	102
8.2 Způsoby vytváření deformačních sítí .....	104
<b>9 Shrnutí poznatků z literatury .....</b>	<b>105</b>
<b>10 Zaměření experimentálních prací .....</b>	<b>107</b>
<b>11 Charakteristika tenkých plechů z ocelí 11 305.21, St 4 a IF-Stahl, vybraných pro vyhodnocení tvářitelnosti .....</b>	<b>109</b>
11.1 Pásová ocel 11 305.21 .....	110
11.1.1 Charakteristika .....	110
11.1.2 Normované vlastnosti .....	111
11.1.3 Základní parametry pásové oceli, vybrané pro podrobný rozbor vlastností .....	112
11.1.4 Hutní atest podle ČSN 42 0009 .....	113
11.2 Pásová ocel St 4 dle DIN 1624 .....	113

11.2.1	Charakteristika .....	113
11.2.2	Normované vlastnosti .....	114
11.2.3	Základní parametry pásové oceli, vybrané pro podrobný rozbor vlastností .....	114
11.2.4	Atest o zkouškách podle DIN 50 049 .....	115
11.3	Pásová ocel IF-Stahl .....	116
11.3.1	Základní parametry pásové oceli, vybrané pro podrobný rozbor vlastností .....	116
11.3.2	Atest o zkouškách podle DIN 50 049 .....	116
<b>12</b>	<b>Experimentální vyhodnocení vlastností pásových ocelí 11 305.21, St 4 a IF-Stahl .....</b>	<b>117</b>
12.1	Stanovení chemického složení ocelí pomocí spektrometru .....	117
12.2	Vyhodnocení jakosti povrchu plechů .....	118
12.3	Vyhodnocení stavu povrchu plechů .....	118
12.4	Metalografické hodnocení tenkých plechů z ocelí 11 305.21, St 4 a IF-Stahl ..	120
12.4.1	Příprava vzorků .....	120
12.4.2	Vyhodnocení mikročistoty .....	121
12.4.3	Posouzení mikrostruktury .....	128
12.4.4	Stanovení velikostí feritického zrna .....	128
12.4.4.1	Srovnávací metoda .....	128
12.4.4.2	Lineární metoda .....	130
12.4.4.3	Porovnání a zhodnocení výsledků obou metod .....	132
12.4.5	Posouzení rovnoměrnosti velikosti feritických zrn .....	132
12.4.6	Vyhodnocení tvaru feritických zrn .....	133
12.4.7	Metalografické hodnocení cementitu v pásových ocelích .....	133
12.4.8	Vyhodnocení řádkovitosti struktury .....	134
12.5	Vytvoření počítačového programu pro zpracování výsledků zkoušek tahem ...	134
12.6	Vyhodnocení mechanických vlastností .....	139
12.6.1	Vyhodnocení kontrakce pomocí elektronového řádkovacího mikroskopu .....	141
12.7	Vyhodnocení plošné anizotropie mechanických vlastností .....	143
12.8	Vyhodnocení součinitelů plastické anizotropie .....	144
12.9	Vyhodnocení exponentů deformačního zpevnění .....	146
12.9.1	Vyhodnocení exponentů deformačního zpevnění metodou dle ČSN ISO 10275 .....	146
12.9.2	Vyhodnocení exponentů deformačního zpevnění metodou užívající maximální rovnoměrné prodloužení .....	147
12.9.3	Porovnání obou metod .....	148
12.10	Zkoušky hloubením podle Erichsena .....	149

<b>13</b>	<b>Zhodnocení experimentálně stanovených vlastností pásových ocelí 11 305.21, St 4 a IF-Stahl</b>	153
13.1	Porovnání chemického složení	153
13.2	Smluvní mez kluzu	154
13.3	Pevnost v tahu	155
13.4	Poměr smluvní meze kluzu k pevnosti v tahu	156
13.5	Tažnost	156
13.6	Součinitelé plošné anizotropie mechanických vlastností	157
13.7	Součinitelé plastické anizotropie	158
13.8	Stupeň plošné anizotropie součinitele plastické anizotropie	159
13.9	Exponent deformačního zpevnění a stupeň plošné anizotropie exponentu deformačního zpevnění	159
13.10	Index tváritelnosti	160
13.11	Liletův diagram	160
13.12	Hloubení podle Erichsena	161
<b>14</b>	<b>Sestrojení diagramů mezních deformací pásových ocelí s využitím počítače</b>	163
<b>15</b>	<b>Zhodnocení tváritelnosti zkoumaných pásových ocelí podle experimentálně zjištěných vlastností</b>	168
15.1	Pásová ocel 11 305.21	168
15.2	Pásová ocel St 4	169
15.3	Pásová ocel IF-Stahl	171
15.4	Porovnání vlastností pásových ocelí 11 305.21, St 4 a IF-Stahl	172
<b>16</b>	<b>Zdokonalení metod vytváření a měření deformačních sítí</b>	174
16.1	Vývoj přípravku pro vytváření deformačních sítí ražením	174
16.1.1	Původní způsob ražení vtisků	174
16.1.2	První varianta přípravku pro vytváření vtisků	174
16.1.3	Druhá, zdokonalená varianta přípravku pro vytváření vtisků	176
16.1.4	Třetí varianta přípravku pro vytváření vtisků	178
16.2	Stanovení velikosti parametru deformační sítě	181
16.3	Zjištění rozměrů vtisků na výbrusech z tloušťky plechu	183
16.3.1	Zjištění rozměrů vtisku na výbrusu z tloušťky plechu při nastavení přípravku na hloubku vtisku 0,06 mm	183
16.3.2	Zjištění rozměrů vtisku na výbrusu z tloušťky plechu při nastavení přípravku na hloubku vtisku 0,05 mm	185
16.4	Posouzení ovlivnění plechů deformací v místech vtisků	185
16.4.1	Posouzení ovlivnění plechu deformací při nastavení přípravku na hloubku vtisku 0,06 mm	187
16.4.2	Posouzení ovlivnění plechu deformací při nastavení přípravku na hloubku vtisku 0,05 mm	191
16.5	Navržení speciálního zařízení pro měření elementů deformačních sítí	195

16.6	Posouzení přesnosti vyhodnocování deformačních sítí .....	198
<b>17</b>	<b>Rozbor technologie výroby výtažku oválného paraboloidního zrcadla reflektoru pro automobily VAZ 2108 a Škoda Favorit .....</b>	<b>201</b>
17.1	Rozbor technologie výroby .....	201
17.2	Technologický postup výroby oválného paraboloidního zrcadla 5620.86 .....	207
17.3	Schématické sestavy tažných nástrojů .....	210
17.4	Mazání při tažení výtažků .....	215
17.5	Výtažky po tříoperačním a jednooperačním tažení .....	215
<b>18</b>	<b>Rozbor napjatosti a deformací ve třech operacích tažení oválných paraboloidních zrcadel při použití pásových ocelí 11 305.21, St 4 a IF-Stahl ....</b>	<b>221</b>
18.1	Posouzení existence soustředěných deformací .....	225
18.2	Sekundární zvlnění stěn výtažků .....	225
18.3	Vyboulení protilehlých svislých stěn výtažků .....	226
18.4	Stopy po tazích a příčina jejich vzniku .....	226
18.5	Místa největšího využití zásoby plasticity materiálu .....	227
18.6	Místa nejnižšího využití zásoby plasticity materiálu, pěchování plechu v oblasti příruby .....	229
18.7	Ztenčování a protahování plechu při tažení .....	230
18.8	Porovnání tvarů přírub výtažků po jednotlivých operacích tažení .....	233
18.9	Činitelé ovlivňující stav povrchu výtažků .....	236
18.9.1	Drsnost povrchu přístřihů .....	236
18.9.2	Existence výrazné meze kluzu .....	236
18.9.3	Velikost feritického zrna oceli .....	236
18.10	Porovnání stavů povrchu zkoumaných plechů před a po tažení .....	237
<b>19</b>	<b>Rozbor napjatosti a deformací při jednooperačním tažení oválných paraboloidních zrcadel při použití pásových ocelí 11 305.21, St 4 a IF-Stahl ....</b>	<b>240</b>
19.1	Posouzení existence soustředěných deformací .....	244
19.2	Sekundární zvlnění stěn výtažků .....	244
19.3	Vyboulení protilehlých svislých stěn výtažků .....	245
19.4	Místa největšího využití zásoby plasticity materiálu .....	246
19.5	Místa nejnižšího využití zásoby plasticity materiálu, pěchování plechu v oblasti příruby .....	247
19.6	Ztenčování a protahování plechu při tažení .....	248
19.7	Porovnání tvarů přírub výtažků, vyrobených jednooperačním tažením .....	250
19.8	Stav povrchu výtažků, vyrobených jednooperačním tažením .....	251
<b>20</b>	<b>Porovnání výsledků tříoperačního a jednooperačního tažení .....</b>	<b>253</b>
20.1	Porovnání deformací a napjatosti .....	253
20.2	Porovnání tvarů přírub výtažků, vyrobených tříoperačním a jednooperačním tažením .....	255

<b>21 Diskuse výsledků experimentálních prací</b> .....	256
21.1 Chemické složení ocelí .....	256
21.2 Zhodnocení jakosti a stavu povrchu plechů .....	256
21.3 Metalografické zhodnocení plechů .....	257
21.4 Posouzení mechanických vlastností plechů .....	259
21.5 Zhodnocení tvářitelnosti plechů dle nekonvenčních kritérií .....	260
21.6 Zhodnocení výsledků zkoušek hloubením dle Erichsena .....	262
21.7 Zhodnocení tvářitelnosti plechů pomocí diagramů mezních deformací .....	263
21.8 Navržení nových metod vytváření a měření deformačních sítí .....	263
21.9 Zhodnocení výsledků experimentálního tažení hlubokých výtažků ze zkoumaných plechů .....	264
21.10 Zjednodušující předpoklady použité při vyhodnocování experimentálního tažení hlubokých výtažků .....	267
21.10.1 Využití křivek mezních deformací vypočtených z hodnot $\bar{r}$ a $n_m$ .....	268
21.10.2 Zanedbání vlivu historie deformace .....	268
21.10.3 Zanedbání vlivu gradientů deformace .....	269
<b>22 Závěry z výsledků experimentálních prací</b> .....	270
<b>23 Literatura</b> .....	273
<b>24 Seznam citovaných norem</b> .....	285
<b>25 Seznam příloh</b> .....	288
<b>Přílohy</b> .....	291