

ПРОЦЕНКА НА ОБРАБОТЛИВОСТА БРЗ ОСНОВА НА МЕХАНИЧКИТЕ
КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЛИМОТ И НЕЈЗИНА ПРОМЕНА ВО ТЕКОТ НА
СТАРЕЕЊЕТО

М-р Јован Лазарев, дипл. инж.
предавач на Машинскиот
факултет во Скопје

1. У В О Д

Испитувањата на механичките карактеристики на материјалот кои се вршат за одредување на механичко конструктивните особини кои се изведуваат релативно едноставно и на стандардна опрема, успешно се користат за оценка на технолошките својства на лимот.

Во последно време направени се бројни обиди и утврдено е дека постои корелација помеѓу одделните механички карактеристики и обработливоста со длабоко извлекување. Во однос на симулативните испитувања овие се разликуваат по тоа што не го земаат предвид надворешното триење.

Овие испитувања нормално се изведуваат со едноосно истегање. На тој начин се доаѓа до податоци за низа механички карактеристики на материјалот како што се: јакостната граница на кинењето (σ_M), границата на развлекувањето (течењето) (σ_T или $\sigma_{0,2}$) издолжување на епруветата (ϵ) итн. Освен тоа, често се изведуваат и стандардните испитувања на тврдината на лимот (H).

Со помош на овие испитувања релативно лесно се добиваат и податоци за други карактеристики како што се степенот на деформационото ојакнување (n) и коефициентот на нормалната анизотропија (r).

Недостаток на овие испитувања е тој што напрегнато - деформираната состојба при извлекувањето е сложена и неадекватна на истата при испитувањето.

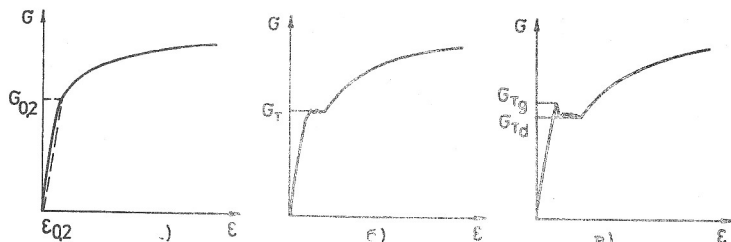
Со формирање на еден комплексен показател на обработливоста, точно може да се одреди влијанието на секоја карактеристика врз обработливоста.

1.1. Граница на течење и јакостна граница

Напрегање, при кое настануваат големи издолжувања се нарекува граница на течење (развлекување) (сл.1).

$$\sigma_T = \frac{F_T}{A_0}$$

Таа всушност претставува премин од еластична во пластична состојба на материјалот. Овој премин може да биде континуиран без некаков дисконтинуитет во областа на развлекувањето и тогаш за границата на течењето се зема конвенционално напрегање $\sigma_{0,2}$, т.е. она напрегање кое одговара на трајно (пластично) издолжување од 0,2% (сл.1а). Ваков премин е карактеристичен за нестарееен челик и смирен челик.



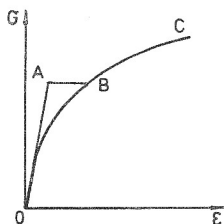
Сл.1. Карактеристични облици на кривата во областа на течењето

Меѓутоа кога се во прашање старени нискојагленородни челични жарени лимови, границата на течењето е дисконтинуитетна крива (сл.1б и в) кога овој дисконтинуитет е во вид на хоризонтална крива тогаш, практично нема никакви тешкотии за одредување на гра-

ницата на течењето. Кога овој дисконтинуитет е изразен со еден или повеќе превои тогаш за меродавна се зема долната граница бидејќи во тој дел е приближно права линија.

Физичката природа на образувањето на дисконтинуирана граница (зона) на течењето прв ја опишал Кестер (Köster).

При бавно ладење на челикот под температурата A_1 , јагленородот се излачува од феритот на линијата P-Q во дијаграмот $Fe-Fe_3C$, како терцијален цементит, по границитена кристалите со феритно јадро. Таквите кристали имаат крти граници а меко јадро. За да може феритното јадро да се деформира потребно е претходно да се разурне кртата граница. На тој начин, додека не биде совладан отпорот на терцијалниот цементит, материјалот прима само еластични деформации (линија OA на сл.2). Кога напрегањето ќе ја достигне граничната вредност на јакоста на цементитот, границите се разурнуваат а зрната на феритот ја примаат таа деформација (AB) која што тие би ја примиле при отсуство на терцијалниот цементит. Ефектот на задржувањето на деформацијата од терцијалниот цементит зависи од големината на зрното на феритот.



Сл.2

Посматрано од аспект на обработливоста пожелно е границата на течењето да биде пониска.

Под претпоставка јакостната граница на материјалот да не се менува, пониската граница на материјалот условува поголем степен на деформационо ојакнување. Покрај тоа, на тој начин се смалува отпорот спрема деформацијата при извлекувањето. Како резултат на зго-

лемениот степен на ојакнувањето и смалениот отпор спрема деформацијата, при обликувањето се вклучува поголем дел од материјалот со што се смалува можноста за појава на локална деформација и евентуално кинење на лимот.

Јакостната граница на истегање (σ_M) претставува максимална вредност на напрегањето кое материјалот може да го прими без појава на локална деформација. Точката M претставува граница на стабилноста, по која процесот е нестабилен и се појавуваат локални контракции на пресекоот.

Јакостната граница на истегањето има помало технолошко значење од границата на течењето и не се очекува особена корелација помеѓу неа и обработливоста со извлекување. Малата релавантност на оваа карактеристика произлегува и од тоа што истата се користи со техничките вредности, додека пак при сложени услови на обработка мора да се смета со променет пресек и вистинско гранично напрегање кое може да го поднесе.

Јакостната граница многу не зависи од брзината на деформацијата.

Поголемо практично значење јакостната граница може да има ако се доведе во однос со границата на развлекувањето. Оттука односот:

$$K = \frac{\sigma_T}{\sigma_M}$$

често се користи како показател на обработливоста на материјалот.

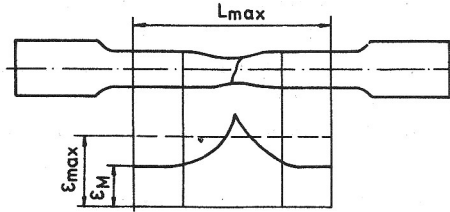
1.2. Рамномерно издолжување

Максималното издолжување ϵ_{\max} се состои од два дела: дел кој одговара на рамномерната деформација ϵ_M и втор дел кој се однесува на нерамномерната (нестабилната) деформација

$$\epsilon_{\max} = \epsilon_M + \epsilon_N$$

При обработката со извлекување поголемо значење има рамномерното издолжување од причина што одговара на стабилната деформација. Неговата големина зависи од пластичноста на материјалот. Испирувањето на можноста за остварување на стабилна пластична деформација е еден од основните фактори кои ја ограничуваат понатамошната обработка на металот со пластична деформација. Од ова произлегува дека големината на стабилната деформација го одредува и максималниот степен на извлекувањето.

Сpreма дефиницијата, рамномерното издолжување треба да се регистрира во моментот кој непосредно претходи на почетокот на нестабилната деформација. Тоа е момент кога силата на истегањето ќе ја достигне максималната вредност. Меѓутоа практично не е сосема едноставно да се одреди тој момент, кој обично не е карактеризиран со некој изразит ефект во односот сила - издолжување.



Сл.3. Распоред на деформацијата по мерната должина на епруветата

1.3. Коефициент на нормалната анизотропија

Анизотропијата на лимовите се разгледува двојно: анизотропија на лимот во рамнина итн. нормална анизотропија, која претставува разлика помеѓу својствата на лимот во рамнината и својствата во правец на неговата дебелина.

Својствата на материјалот во правец нормален на рамнината на лимот треба особено да се земаат предвид зашто во многу случаи тие се разликуваат од својствата во самата рамнина. Во таа смисла се користи еден показател на анизотропијата на лимот т.н. коефициент на нормалната анизотропија (познат и како Lanford-ов коефициент или "r-фактор"). По својата дефиниција тој претставува однос на релативните вистински деформации на епруветата по нејзината ширина (b) и дебелина (s), при едноосно истегавје

$$r = \frac{d\epsilon_b}{d\epsilon_s} = \frac{db/b}{ds/s}$$

што истовремено може да се напише:

$$r = \frac{\phi_b}{\phi_s} = \frac{\ln \frac{b}{b_0}}{\ln \frac{s}{s_0}}$$

Иако експериментално тој може да се определи за сите правци, сепак најчесто се одредува за епрувети исечени под агли 0° , 45° и 90° во однос на правецот на валањето.

За обработливоста со извлекување пожелно е коефициентот r да биде што поголем. Кај лимовите со $r > 1$, деформацијата по дебелината е помала од деформацијата по ширина, што значи дека тие поседуваат отпор спрема истечувањето, а со тоа е намалена можноста за појава на локални деформации. Покрај тоа, ова овозможува пренесување на поголеми сили кои се јавуваат во текот на извлекувањето. Со други зборови, лим со поголем коефициент r поседува поголема јачина во правец на дебелината, отколку во рамнината, кое од аспект на обработливоста е позитивно. Секако за $r < 1$ важат спротивните односи.

Со експерименти е утврдено дека, коефициентот r значително е во поголема корелација со резултатите од испитувањето на материјалите со извлекување на цилиндрични делови со рамно дно, отколку со резултатите од испитувањето при развлекување, врз кое поголемо влијание има ојакнувањето на материјалот.

При извлекувањето на цилиндрични садови со рамно дно кинешето на материјалот настанува на дното на цилиндричниот дел, а во таа зона, материјалот се деформира само долж цилиндричниот ѕид и по дебелината. Овие две деформации мора да бидат меѓусебно еквивалентни, од што произлегува дека со зголемувањето на коефициентот r , заради зголемиот отпор спрема истечувањето, ќе порасне отпорот спрема деформацијата на тоа место и материјалот ќе може да пренесе поголемо оптоварување. Истовремено со порастот на r нема да се промени отпорот спрема деформацијата на венецот кој радијално се извлекува, што значи дека силата потребна за извлекување, под исти останати услови, практично ќе остане непроменета.

Корелацијата на коефициентот r со граничниот степен на извлекувањето, спрема критериумот на Hill може да се напише:

$$\beta_{\text{отмах}} = \sqrt{\frac{r+1}{2}}$$

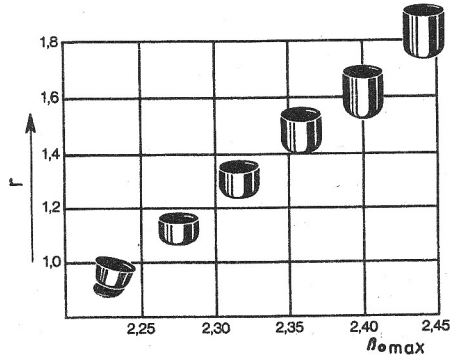
каде што r е коефициент на нормалната анизотропија за материјал кој е изотропен во рамнина.

Меѓутоа, ако во рамнината постои анизотропија, тогаш горниот израз добива облик:

$$\beta_{\text{оmax}} = \sqrt{\frac{r_o(r_{90}+1)}{r_o + r_{90}}}$$

Овие односи јасно го илустрираат значењето на нормалната анизотропија при извлекувањето.

Графички илустрација на овие односи дадена е на сл.4.



Сл.4. Зависност на граничниот степен на извлекувањето од коефициентот на нормалната анизотропија

2. ПРОМЕНИ НА МЕХАНИЧКИТЕ КАРАКТЕРИСТИКИ СО СТАРЕЕЊЕТО

За испитување е користен студено валан челик лим за длабоко извлекување Č 0148-4 (DIN St.14.04), со хемиски состав даден во таблица 1.

Таблица 1

Материјал	Содржина на елементите %							
	C	Mn	Si	S	P	Ni	Cr	Cu
Č 0148-4	0,08	0,36	0,005	0,029	0,02	0,03	0,01	0,05

Од табла лим со дебелина 1 мм исечени се епрувети под агол 0° , 45° и 90° . Соодветната механичка карактеристика е пресметувана

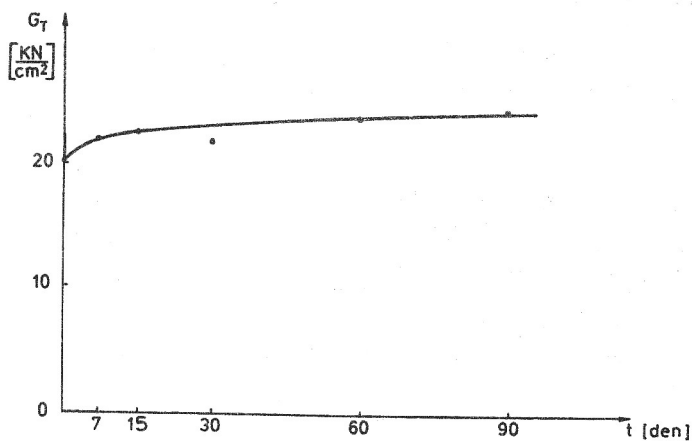
според изразот

$$x = \frac{1}{4}(x_0 + 2x_{45} + x_{90})$$

Испитувани се следните карактеристики: границата на течењето (σ_T), јакосната граница (σ_M) рамномерното и максималното издолжување ($\epsilon_m, \epsilon_{max}$), коефициентот на нормалната анизотропија (γ), експонентот на деформационото ојакнување (n), длабочината на извлекувањето според Erichen и тврдината (HRb).

Границата на течењето (сл.5) и големината на издолжувањето во таа област се зголемуваат во текот на процесот на стареењето и тоа во почетокот поинтензивно а потоа поспоро. Ова се објаснува, со излачувањето на јагленородот по границата на кристалите како сферно дисперзирани честички на терцијален цементит. Докажано е [3], дека границата на течењето е обратно пропорционална со логаритмот од средното растојание помеѓу честичките на излачениот терцијален цементит. Значи со излачување на терцијалниот цементит се зголемува густината на тие честички т.е. се смалува растојанието меѓу нив кое обусловува зголемување на границите на течењето. Кога напрегањето ќе ја достигне граничната вредност на јакоста на цементитот, цементитните граници се разурнуваат, а зрната на феритот ја примаат таа деформација, која истите би ја примиле при отсуство на терцијалниот цементит.

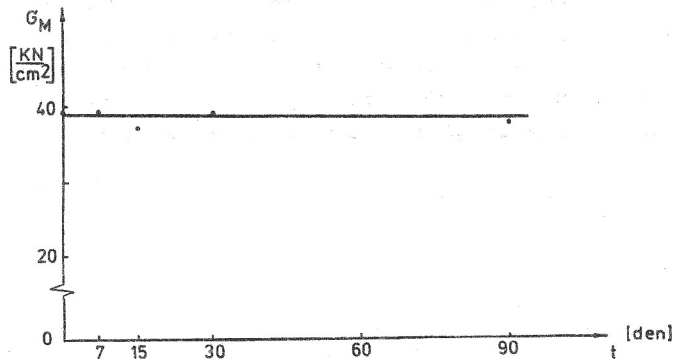
Од аспект на обработливоста пожелно е границата на течењето да биде пониска, а големината на зоната на течењето помала или воопшто да не постои.



Сл.5. Промена на границата на течењето

Со зголемувањето на границата на течењето се зголемува отпорот спрема деформацијата, а се смалува интензитетот на ојакнувањето, со што во обликувањето се вклучува помал дел од материјалот и на тој начин се зголемува можноста да дојде до појава на локализирана деформација. Како резултат на зголемената зона на течењето можно е на површината на извлечениот дел да се појават површински дефекти во вид на бразди (Lüders-ови линии) или рапава кора.

Јакостната граница (σ_M) (сл.6) покажува блага тенденција на опаѓање, меѓутоа овде не се земени во предвид влијанијата кои тешко можат да се оценат, како што се невоедначеноста на хемискиот состав, структурата, големината на металните зрна, дислокациите и сл. Кога ќе се земе сето тоа во предвид може да се заклучи дека јакостната граница и малку или воопшто независно од процесот на стареењето.

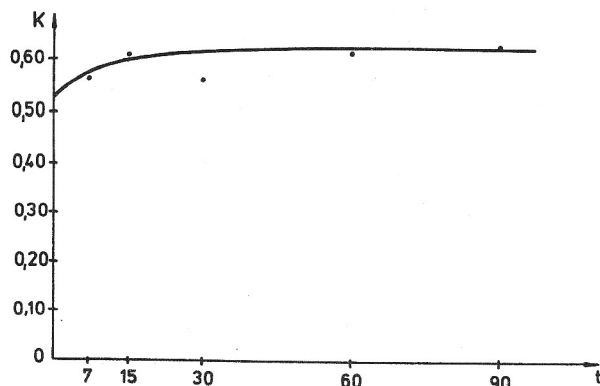


Сл.6. Промената на јакостната граница

Бидејќи јакостната граница е непроменлива а границата на течењето расте, тогаш односот ($K = \sigma_T / \sigma_M$) ќе расте (сл.7), односно реципрочната вредност $1/K$ ќе опаѓа.

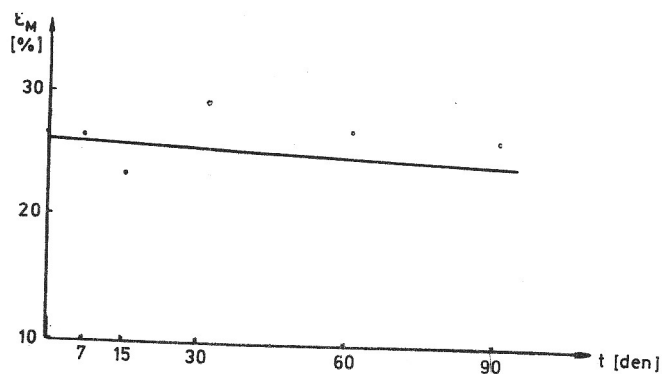
Ова опаѓање неповолно влијае во процесот на двоосното развлекување, за кого е повољно да постои што поголем однос σ_M / σ_T .

Рамномерното издолжување (сл.8) исто и рамномерното издолжување покажуваат тенденција на опаѓање. Ова се објаснува со смалената пластичност на кристалите предизвикана со излачувањето на терцијалниот цементит.



Сл. 7. Зависност на односот (σ_T/σ_M) од времето на стареењето

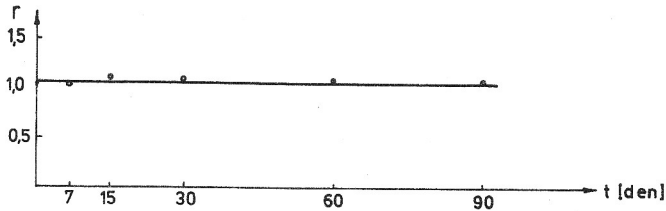
Со смалувањето на рамномерното издолжување се влошува обработливоста со едноосно истегање, како и при двоосното развлекување. Процесот на двоосното развлекување е стабилен додека едната од главните деформации не ја достигне максималната вредност. Од тоа произлегува влошената обработливост со намалувањето на ϵ_M .



Сл. 8. Промена на рамномерното издолжување

Коефициентот на нормалната анизотропија (r) (сл. 9) не покажува тенденција на опаѓање или растење. Меѓутоа како што беше речено коефициентот r е во голема корелација со обработливоста нормално е тој да опаѓа. Овде условно ќе усвоиме дека r не се менува со текот на времето т.е. не зависи од процесот на стареењето.

За да го согледаме целосно влијанието на стареењето врз обработливоста ќе формираме еден комплексен показател на обработливоста /1/.



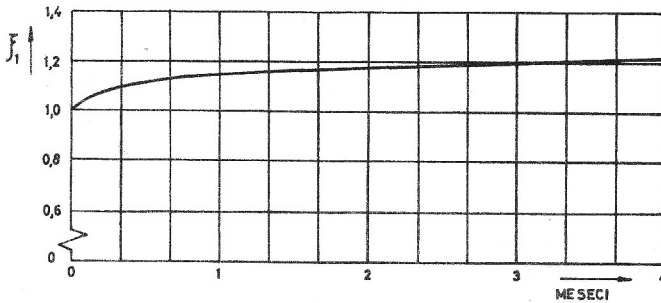
Сл.9. Промена на коефициентот на нормалната анизотропија (r-фактор)

$$P = P\left(\frac{\sigma_M}{\sigma_T}, \epsilon_H, r\right)$$

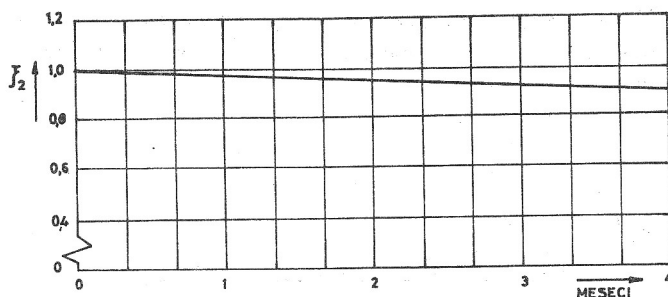
влијанието на стареењето може да го земеме предвид преку два коефициента

$$P = P\left(\frac{1}{\xi_1}, \frac{M}{\sigma_T}, \xi_2 \epsilon_M, r\right)$$

каде што се ξ_1 и ξ_2 фактори на стареењето и ги земаат предвид промените на σ_M/σ_T и ϵ_M .



Сл.10. Коефициент на стареењето ξ_1

Сл.11. Коэффициент на стареењето ξ_2

На сл.10 и 11 дадени се дијаграми за одредување на коефициентите ξ_1 и ξ_2 . Истите можат да се претстават и табеларно:

Таблица 2: Коэффициенти на стареењето

Време на стареење	-	15 дена	1 месец	2 месеца	3 месеца	6 месеци
ξ_1	1	1,15	1,18	1,19	1,20	1,22
ξ_2	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94

Дијаграмот и табеличните вредности добиени се врз основа на промената на σ_T/σ_M и ϵ_M со стареењето.

ЗАКЛУЧОК

Од механичките карактеристики на лимот најчувствителна спрема стареењето е границата на течењето (σ_T). Во почетокот таа брзо расте и потоа побавно. Рамномерното издолжување (ϵ_M) опаѓа во текот на стареењето, додека јакостната граница и коефициентот на нормалната анизотропија не покажуваат изразена тенденција на опаѓање или растење. Свкупно гледано стареењето ја влосува обратливоста.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. B. Devedžić, "Obradivost materijala dubokim izvlačenjem",
Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1972
2. J. Лазарев , "Влијание на стареењето на нискојагленородните
челични лимови врз обработливоста со извлекување"
Магистерски труд, Машински факултет-Скопје, 1975
3. R. Honeycombe, "The plastic deformation of metals", University
of Cambridge, 1968

Ј. Лазарев

ПРОЦЕНКА НА ОБРАБОТЛИВОСТА ВРЗ ОСНОВА НА МЕХАНИЧКИТЕ
КАРАКТЕРИСТИКИ НА ЛИМОТ И НЕЈЗИНА ПРОМЕНА ВО ТЕКОТ
НА СТАРЕЕЊЕТО

Резиме

Испитувањата на механичките карактеристики на материјалот кои се вршат за одредување на механичко конструктивните особини, успешно се користат за оценка на технолошките својства на лимот. Во последно време направени се бројни обиди и е утврдено дека постои корелација помеѓу одделните механички карактеристики и обработливоста со длабоко извлекување. Во трудот се зборува за тоа како тие карактеристики се менуваат во текот на стареењето.

И: Лазарев

ОЦЕНКА ПЛАСТИЧНОСТИ В СВЯЗИ С МЕХАНИЧЕСКИМИ
ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ЛИСТОВ И ЕЕ ИЗМЕНЕНИЙ В
ПРОЦЕССЕ СТАРЕНИЯ

Резиме

Исследования механических характеристик материала, проводимые для определения механико-конструкционных свойств, успешно используются также для оценки технологических свойств стальных листов. В последнее время проведены многочисленные испытания, которые показали, что существует корреляция между отдельными механическими характеристиками и листопластичностью. В данной работе рассматривается вопрос о том как изменяются характеристики листов в процессе их старения.