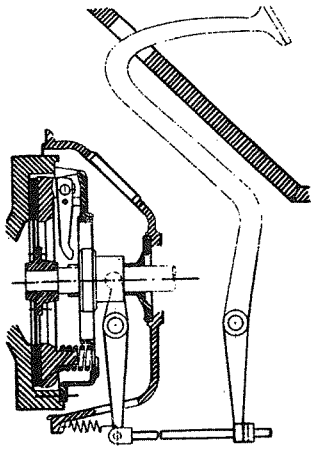


محاسبات کلاسیک کاربردی صفحه کلاچ

دکتر مهدی اخلاقی

استادیار دانشکده مکانیک دانشگاه صنعتی امیر کبیر

چکیـــده :

در گزارش علمی‌حاضرکه از نظرتان می گذرد ، طراحی‌صفحهٔ مالشی کلاچ خود رو های سواری به کمک محاسبات کلاسیک ارائه شده و سپس با توجه به فرضیات ساده‌ای که به عمل آمده به صورت روابط کاربردی‌بیان گردیده است . چون کلاچ های مربوطه در جین کار خودرو قابل اتصال می باشند ، لذا بکارگیری صحیح آن ها با توجه به " زمان اتصال "ودر نهایت " سایش صفحهٔ کلاچ در اثر مالش " ، مـورد بحـث قرارگـرفته است .

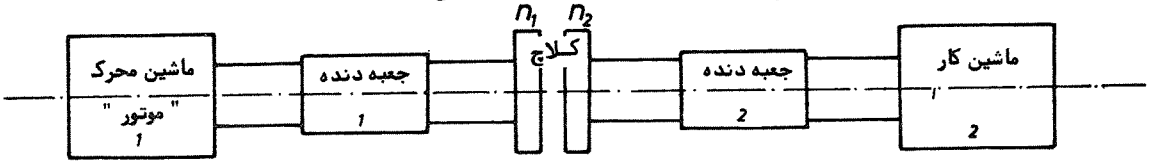
۱ ــ مقـدمـــه :

موتورهای احتراق داخلی اتو و دیزل نمی توانند بـه تنهـائـی موجب حرکت وسیلهٔ نقلیه باشند ، زیرا هر دو در محدودهٔ دوری‌خود ، توان کاری مشخصی را ارائه می دهند و برای انتقال قدرت ، وسـائـل نقلیه نیاز به اجزاء اتصال دهندهٔ نیرو نظیرکلاچ دارند . به کمـک‌این واحد ها ، مسائل مربوط‌به شروع حرکت و هم چنین تطبیق توان کاری با مناسب ترین شرایط حرکتی اتومبیل قابل حل است . در ایـن نـوع سیستم های حرکتی اکثرا " از کلاچ های اتصال آزاد مالشی استفاده می شود . ضمنا " در رابطهٔ بانوسانات چرخشی ، کلاچ مالشی نقش بسیار مهمی را در سیستم نوسانی اتومبیل داراست که محل آن با توجـه بـه محل گره نوسانی دقیقا " تعیین می گردد .

ذیلا " ابعاد و عمر کاری صفحهٔ کلاچ به کمک تئوری و در نهایت به کمک روابط سادهٔ کاربردی تعیین شده است . هم چنین چگـونگـی نحوهٔ اتصال (مقایسهٔ حالات اتصال متفاوت با یک دیگر) موردبحث قرار گرفته است .

۲ ــ محاسبات تئـوری :

محاسبات کلاچ های مالشی با توجه به شکل شماتیک " ۱ "به شرح زیر صورت می گیرد :



(شکل ۱) اتصال ماشین محرک و ماشین کار به کمک کلاچ

در شروع عمل اتصال یعنی در زمان $t = 0$ ، کلاچ بـه صـورت مالشی عمل کرده و گشتاور مالشی T_R را منتقل می کنـد .

$$T_R = F_t \times \frac{d}{2} \qquad (۱)$$

F_t = جمع کل نیروهای مالشی = نیروی محیطی $\mu \times F_s \times g^*$ (۲)

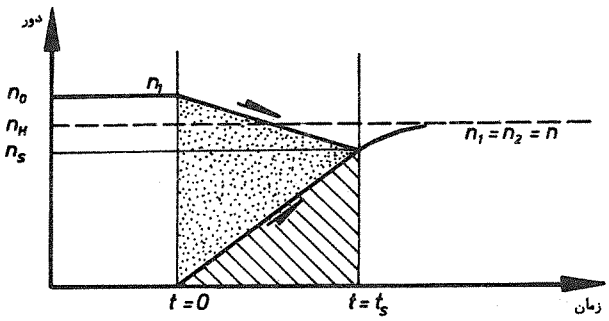
g^*: تعداد جفت صفحات مالشی

F_s: نیروی اتصال دهنده صفحات مالشی

$\bar{d}$ = قطر متوسط صفحهٔ مالشی $= \frac{1}{2}(d_i + d_a)$ (۳)

d_i قطر داخلی و d_a خارجی صفحهٔ مالشی

دور موتور در حین عمل اتصال صفحات کلاچ کاهش یافته (یعنی دور موتور مابین $t=0$ و $t=t_s$ از n_1 به " n_s " کـاهـش می یابد) و همزمان دور ماشین کار از صفر تا n_2 افـزایش می ـ یابد (شکل ۲).این امر تا زمانی صادق است که T_R بزرگ تراز ممان استاتیکی ماشین کار T_H باشد .



(شکل ۲) ـ تغییرات دور ماشین محرک و ماشین کاردراتصال کلاچ ("t_s" زمان اتصال) .

بنابراین گشتاور شتاب دهندهٔ ماشین کار و بازدارندهٔ مـاشین محرک (موتور) عبارت خواهد بود از ،

$$T_{BI} = T_R - T_H \qquad (۴)$$

چگونگی افزایش دور کاری در حین اتصال (یعنـی در فـاصلـهٔ زمانی $t=0$ تا $t=t_s$) به T_R به ازاء $\Delta n = n_1 - n_2$ و هم چنین به منحنی مشخصهٔ گشتاور ماشیـن کـار $T_H = f(n)$ بستگی دارد . دراین جا کاهش n_1 و افزایش n_2 به طور خطی فرض شده است که می تواند خطی نباشد . رابطهٔ (۱) را به صورت زیر نیز می توان نوشت :

$$T_R - T_H = J_{AM} \times \dot{\omega}_2 = J_{AM} \times \dot{n}_2 \times \frac{2\pi}{60} \qquad (۵)$$

$\dot{n} := \frac{dn}{dt}$ افزایش دور

$J_{AM} :\triangleq$ ممان جرمی ماشین کار

$J_{Mot} :\triangleq$ ممان جرمی ماشین محرک

هم چنین کاهش دور موتور در حین اتصال کلاچ بستگی به‌منحنی تغییرات T_R و $T_{Mot.} = f(n)$ دارد .

$$T_R - T_{Mot.} = -J_{Mot.} \times \omega_1 = -J_{Mot} \times \dot{n}_1 \times \frac{2\pi}{60} \qquad (۶)$$

باتوجه براین که برای اکثر مواد مالشی ، ضریب مالش μ فقط خیلی کم به اختلاف دور و یا اختلاف سرعت لغزشی بستگی دارد ، از این رو می توان μ و بدین ترتیب T_R رابرای نیـروی فشـاری (اتصال) مشخص و معین ثابت فرض نمود . اگر گشتاور های T_H و $T_{Mot.}$ نیز ثابت باشند ، بنابراین درزمان t خواهیم داشت :

$$n_2 = \frac{60}{2\pi} \times \frac{1}{J_{AM}} (T_R - T_H)\, t \qquad (۷)$$

$$n_1 = n_0 - \frac{60}{2\pi} \times \frac{1}{J_{Mot.}} (T_R - T_{Mot})t \qquad (۸)$$

و از آن جا :

$$n_s = \frac{n_0}{(1 + \frac{J_{AM}}{J_{Mot}} \times \frac{T_R - T_{Mot}}{T_{BI}})} \qquad (۹)$$

$$t_s = \frac{2\pi}{60} \times \frac{J_{AM}}{T_{BI}} \times n_s \qquad (۱۰)$$

کارمالشی W_R درحیـن لغـزش بستگـی بـــه T_R و $\Delta n = n_1 - n_2$ دارد لذا :

$$W_R = \int_0^{\varphi_s} T_R \times d\varphi = \frac{2\pi}{60} \int_0^{t_s} T_R \times \Delta n \times dt \qquad (۱۱)$$

که درآن جا d_φ و φ_s به ترتیب عبارتند از تغییرات زاویهٔ چرخشی در حین سایش و زاویهٔ چرخش درزمان $t = t_s$ می بـاشنـد . اگـر افزایش خطی n_2 و کاهش خطی n_1 ، شکل ۲ ، را داشتـــه باشیم ، لذا :

$$\int_0^{t_s} \Delta n\, dt = n_0 \times t_s / 2 \qquad (۱۲)$$

و از آنجا کار مالشی برای حالت فوق برابر است با :

$$W_R = T_R \times t_s \times n \times \frac{\pi}{60}$$

$$= (\frac{T_R}{T_{BI}})(\frac{n_0}{n_s}) \times \tfrac{1}{2} \times J_{AM}(n_s \times \frac{2\pi}{60})^2 \qquad (۱۳)$$

کار مالش و در نتیجه سایش صفحات وقتی ناچیز خواهـد بود که نسبت T_{BI}/T_R بزرگ (نیروی فشاری بزرگ) بوده و تغییـرات کاهشی دور موتور $(n_0 - n_s)$ کمترین باشد و هم چنین هر اندازه ممان جـرمی ماشین کار J_{AM} کمتر باشد سایش کمتر خواهدبود .

از طرف دیگر کارشتاب W_B ماشین کار در مرحلهٔ مـالشی (از $n_2=0$ به $n_2 = n_s$) برابر است با :

$$W_B = \int_0^{\varphi_s} T_{BI} \times d\varphi = 2\pi/60 \int_0^{t_s} T_{BI} \times n_2 \times dt \qquad (۱۴)$$

پس از بسته شدن کلاچ و برابری دور موتور و ماشین کار ،جرم های موتور و ماشین کار ، بدون وجود لغزش در کلاچ ، بـا یـک دیگر شتاب مساوی خواهند گرفت .

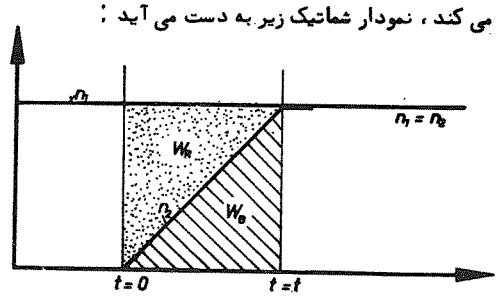
$$T_{BII} = T_{Mot.} - T_H = J_{red.} \times \dot{n} \times \frac{2\pi}{60} \qquad (۱۵)$$

J_{red} ≙ ممان جرمی تمامی جرم های حرکتی نسبت به شافت کلاچ $= J_{Mot.} + J_{AM}$

و بدین ترتیب n از رابطه دیفرانسیلی فوق محاسبه می شود .

۳ـ محاسبات کاربردی :

بافرض براین که دور موتور به هنگام کلاچ گرفتن ثابت بماندو این دور معادل دوری باشد که در آن دور موتور حداکثر گشتاور چرخشی را منتقل می کند ، نمودار شماتیک زیر به دست می آید :



شکل۳ـ تغییرات دورماشین کاردر "زمان اتصال" و بعداز آن

بنابراین درحین زمان اتصال ، کار موتور به کار مالشی و کارشتاب تقسیم می شود . اگر ، همان طوری که درنمودارفوق مشاهده مـی شود ، دورماشین کار به صورت خطی افزایش یابد ، لذا کارهای مالشی و شتاب با یک دیگر برابر خواهند شد .

$$W_{Mot.} = W_R + W_B = 2W_R = 2W_B \qquad (۱۶)$$

$$W_{Mot.} = T_{Mot.} \times \omega \times t = T_{Mot.} \times 2\pi n \times t$$

$$W_R = \frac{W_{Mot.}}{2} = T_{Mot.} \times n \times \pi \times t = W_B \qquad (۱۷)$$

زمان مالش از رابطهٔ تعادلی مابین کار شتاب و انرژی حـرکتـی جرم های چرخشی و جرم هائی که با سـرعت خطی از طـریق کلاچ در حرکت هستند ، به دست می آید . با رعایت بازدهٔ مکانیـکـی داریم :

$$\eta_m \times W_B = W_{kin}$$

$$W_{kin} = E_{kin} + E_{pot.} + W^* \qquad (۱۸)$$

انرژی پتانسیل ≙ E_{pd} و انرژی جنبشی ≙ E_{kin}

مقاومت غلطکی ≙ w^*

$$W_{kin} = \tfrac{1}{2} \times m \times (\Delta V)^2 + S \times G \times \sin\alpha + f \times S \times G \times \cos\alpha$$

وزن اتومبیل ≙ G جرم اتومبیل ≙ m

(۱۹)

تغییرات سرعت ≙ ΔV مسیر طی شده ≙ S

ضریب مقاومت غلطکی ≙ f زاویهٔ شیب جاده ≙ α

بافرض قبلی مبنی برشتاب یک نواخت (ثابت $= b$ عرض صفحه مالشی) ، راه طی شده برابر است با :

$$S = V_o \times t + b \times \frac{t^2}{2} = (V_o + V)\frac{t}{2} = \frac{\Delta V}{2} \times t_s \qquad (۲۰)$$

هم چنین با رعایت درجهٔ تبدیل در دیفرانسیل i_H و در جعبه دنده i_G :

$$V = \frac{r \times \omega}{i} = \frac{r \times \omega}{i_H \times i_G} \qquad (۲۱)$$

بدین ترتیب برای حالت کلی ، زمان اتصال از رابطهٔ زیـربـه دست می آید :

$$t_s = \frac{m \times \Delta V}{\frac{\eta_m \times T_{Mot} \times \omega}{\Delta V} - G \times \sin\alpha - f \times G \times \cos\alpha} \qquad (۲۲)$$

و برای شروع حرکت $\Delta V = V$ داریم :

$$t_s = \frac{G \times 2\pi \times n \times r}{g \times i \times \left(\frac{T_{Mot}}{r} \times i \times \eta_m - G \times \sin\alpha - f \times G \times \cos\alpha\right)} \qquad (۲۳)$$

ضخامت صفحهٔ مالشی بستگی به حجم قابل‌سایش V_v دارد. برای نسبت های اصطکاکی یکسان ، سایش تقریبا" متناسب با کارمالشی است . عمر کاری جفت مالشی توسط حجم مالشی قابل سایش و بـه کمک سایشویژه f_v (مقیاسی برای استحکام سایش ـ برای پنبه نسوزدر مقابل چدن خاکستری و یا فولاد معادل $0/25 - 1/1\ Cm^3/Kwh$) معین می شود . در تعیین V_v باید به یک مقدار حداقل تـوجـه نمـود (برای صفحات مالشی که چسبیده اند ۱ تا ۲ میلی متر ، برای صفحات مالشی‌که پرچ شده اندنیم تا دو تامیلی متر روی سرپرچ) ، سایش ویـژه علاوه برجنس روی صفحهٔ کلاچ و فلانـژ مقابل بستگی به دمـا ، حالت اصطکاکی (خشک ، روغنی) و فشار متوسط‌پرسی و هم چنین بستگی‌به توان مالشی دارد که ازطریق آزمایش به دست می‌آید . با توجه به‌تعداد دفعات اتصال در ساعت Z ، حجم قابل سایش برای مدت زمـان کاری مشخص h (مثلا" یک هزار ساعت کاری) برابر است با :

$$V_v = Z \times h \times W_{R_m} \times f_v \qquad (۲۴)$$

در رابطهٔ فوق ، بادر نظرگرفتن شرایط‌کاری ، متوسط‌کار مالشی W_{Rm} آمده است که به صورت زیر پیشنهاد می شود :

$$W_{Rm} = \frac{g \times W'_{RGI} + 1 \times W''_{RGII}}{10} \qquad (۲۵)$$

W'_{RGI} کار مالشی در دندهٔ یک و برای شروع حرکت‌درجاده افقی W''_{RGI} کار مالشی در دنده دو و بـرای شروع‌حرکت‌در سربالائی می باشد .

راه سـایـش Δs :

$$\Delta s = \frac{V_v}{A} = \frac{Z \times h \times W_{Rm} \times f_v}{\pi(r_a^2 - r_i^2)} \qquad (۶)$$

که در آن r_a و r_i شعاع خارجی وداخلی صفحهٔ مالشی می باشد.

برای ضخامت معین ، اگر بجای دندهٔ یک در دندهٔ دو حرکت شود ، به دلیل درجهٔ تبدیل کوچکتر زمان اتصال بزرگتر و نهایتا" سائیدگی بیشتر است . هم چنین برای اختلاف سرعت کم ،زمان اتصال کوتاه تر و لذا سائیدگی کمتر است .

به طور کلی گشتاور اصطکاکی باید به اندازه ای بزرگتر از ممان استاتیکی ماشین‌کار باشد که در شرایط نامناسب ـ نظیر بارهای ماکزیمم، نوسانات μ ،کاهش شعاع اصطکاکی در اثر سایش ، افت پیش تنیدگی نیروی پرسی فنر در اثر نشست فنر و غیره از لغزش جلوگیری شود.به همین منظور ضریب اطمینان در مقابل لغزش S_R برای محاسبات مربوط به گشتاور اصطکاکی در نظر گرفته می شود .

برای حالت فوق الذکر داریم :

$$T_R = S_R \times T_{Mot.} \qquad (۲۷)$$

از روابط گذشته ، قطر متوسط صفحهٔ مالشی ، بارعایت فشارمجاز پرسی (برای اتومبیل های سواری $p_{مجاز} = ۲۰۰ - ۴۰۰ \ \frac{N}{Cm^2}$) برابر است با :

$$d\ [mm] \geq \sqrt[3]{\frac{200 \times T_R}{\mu \times \frac{b}{d} \times \pi \times g^* \times p_{مجاز}}} \qquad (۲۸)$$

عرض صفحهٔ مالشی $b \hat{=}$:

برای اتومبیل های سواری $\frac{b}{d} = ۰/۱۵ - ۰/۳$

$\mu = ۰/۳۸ - ۰/۴۲$

۴ـ نتایج :

الف : به کمک فرضیات ساده ، که از حقیقت نیز خیلی به دور نیستند ، روابط تئوری پیچیده مربوط به اندازه های اصلی صفحه ٔ مالشی کلاچ های اتصال آزاد ، به روابط کاربردی تبدیل و محاسبات در چار چوب تساوی های ساده میسر است .

ب : سایش صفحهٔ مالشی از همه مهم تر بستگی به زمان اتصال دارد . در شرایط نامناسب کاری (تعداد زیاد دفعات اتصال در زمان کوتاه ، افزایش دمای کاری ، اتصال بی موقع و نامناسب) اتصال طولانی و بدین ترتیب سایش بیشتر است .

۵ـ منابع

1— G. Niemann, H. Winter, Maschinenelemente Bd III
Springer—Verlag Berlin · New York Tokyo 1983

۲ ـ مهدی اخلاقی
طراحی موتور های پیستونی ، جلد اول ۱۳۶۳ ،