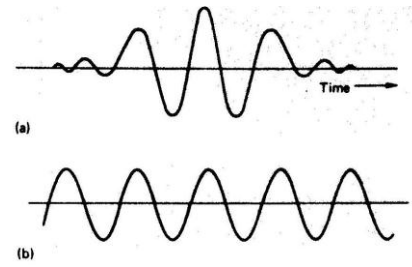
آزمون فراصوتی

Ultrasonic Testing (UT)

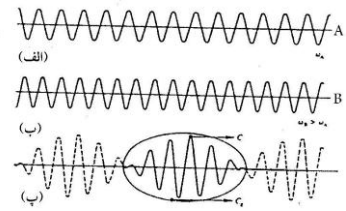
دیسپرژن

مدرس: دکتر فرهنگ هنرور
گروه ساخت و تولید
دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

پالس فراصوتی و موج پیوسته

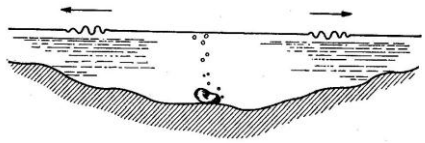


ترکیب دو موج سینوسی



فرکانس دو موج A و B اختلاف کمی دارد

پرتاب سنگ در آب



دو موج سینوسی هارمونیک با دامنه‌های مساوی A و فرکانس‌های اندک متفاوت ω_1 و ω_2 را در نظر می‌گیریم. معادله موج حاصل از ترکیب این دو موج به صورت زیر است :

$$u = A\cos(k_1 x - \omega_1 t) + A\cos(k_2 x - \omega_2 t) \qquad (1)$$

که در آن

$$k_1 = \frac{\omega_1}{c_1} \quad و \quad k_2 = \frac{\omega_2}{c_2}$$

با استفاده از رابطه مقلثاتی:

$$(\cos\alpha + \cos\beta) = 2\left[\cos\left(\frac{\alpha-\beta}{2}\right)\cos\left(\frac{\alpha+\beta}{2}\right)\right]$$

معادله (1) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$u = 2A\cos\left\{\frac{1}{2}(k_2 - k_1)x - \frac{1}{2}(\omega_2 - \omega_1)t\right\}\cos\left\{\frac{1}{2}(k_2 + k_1)x - \frac{1}{2}(\omega_2 + \omega_1)t\right\}$$

با توجه به نزدیک بودن مقادیر ω_1 و ω_2 می‌توان نوشت:

$$\omega_2 - \omega_1 = \Delta\omega$$
$$k_2 - k_1 = \Delta k$$
$$\frac{1}{2}(\omega_2 + \omega_1) = \omega_{avg} = \omega$$
$$\frac{1}{2}(k_2 + k_1) = k_{avg} = k$$
$$c_{avg} = \frac{\omega_{avg}}{k_{avg}}$$

و در نتیجه معادله (*) به شکل زیر در می‌آید:

$$u = 2A\cos\left\{\frac{1}{2}(\Delta k)x - \frac{1}{2}(\Delta\omega)t\right\}\cos(kx - \omega t)$$

ملاحظه می‌گردد که در این حالت موج حاصل دارای دو مولفه است که یکی از آن‌ها با فرکانس پایین $\frac{\Delta\omega}{2}$ و دیگری با فرکانس بالای ω متشتر می‌شود. به عبارت دیگر، بخش فرکانس بالای موج حاصل، با یک موج فرکانس پایین مدوله شده است. سرعت بخش فرکانس پایین، همان سرعت گروه است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$c_g = \frac{\Delta\omega}{\Delta k}$$

در حالت حدی معادله بالا به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$c_g = \frac{d\omega}{dk}$$

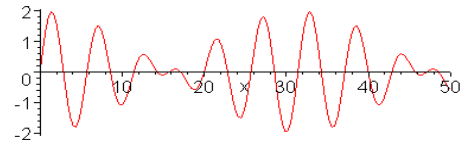
و سرعت بخش فرکانس بالا (سرعت فاز) نیز برابر است با:

$$c_p = \frac{\omega}{k}$$

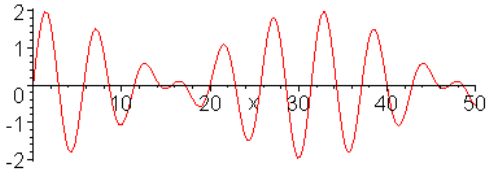
می‌توان نشان داد که روابط زیر بین سرعت فاز و سرعت گروه برقرار است:

$$c_g = c_p - \lambda\left(\frac{dc_p}{d\lambda}\right)$$
$$c_g = c_p + k\left(\frac{dc_p}{dk}\right)$$

امواج سینوسی دیسپرسیو



امواج سینوسی غیردیسپرسیو



آزمون فراصوتی

Ultrasonic Testing (UT)

امواج سطحی و ورقی

مدرس: دکتر فرهنگ هنرور
گروه ساخت و تولید
دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

سرعت انتشار موج سطحی از معادله زیر به دست می‌آید

$$R^6 - 8R^4 + (24 - 16\gamma^2)R^2 + 16(\gamma^2 - 1) = 0$$

که در آن

$$R = \frac{c_R}{c_S}$$

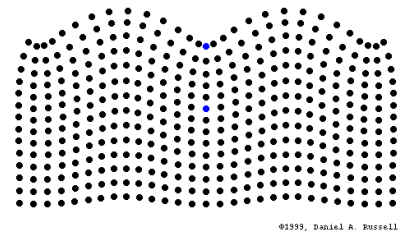
و

$$\gamma = \frac{c_S}{c_L} = \sqrt{\frac{1-2\upsilon}{2(1-\upsilon)}}$$

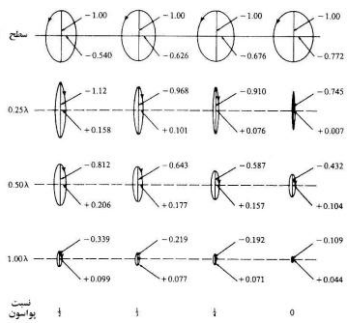
در معادله‌های بالا، c_R سرعت موج ریلی و υ، ضریب پواسون است. ملاحظه می‌گردد که در معادله فوق، در صورت معین بودن مقادیر سرعت برشی و ضریب پواسون ماده، سرعت موج سطحی معین خواهد گردید.

ماده	c_R/c_S	υ
فولاد	0.9258	0.29
مس	0.9335	0.34
آلومینیوم	0.9335	0.34

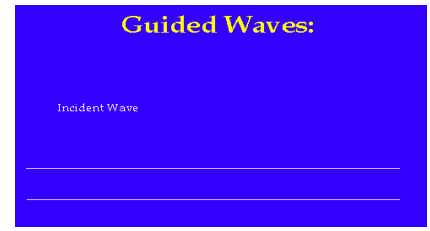
موج سطحی (ریلی)



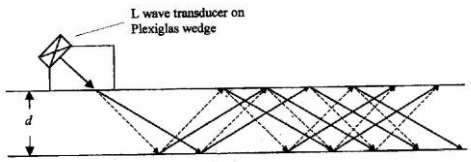
حرکت امواج ریلی در عمق قطعه



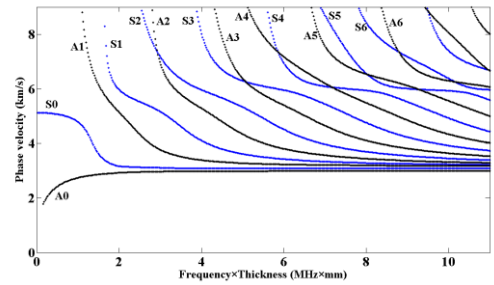
موج ورقی (لمب)



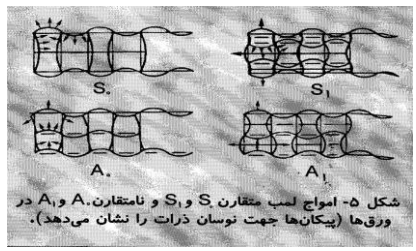
تولید موج ورقی



منحنی دیسپرژن برای امواج ورقی

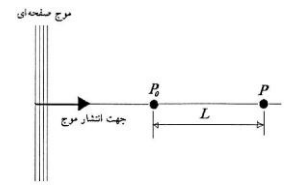


مودهای مختلف موج لمب



شکل ۵- امواج لمب متقارن S_0 و S_1 و نامتقارن A_0 و A_1 در ورق‌ها (پیکان‌ها جهت نوسان ذرات را نشان می‌دهد).

استهلاک موج



$$P = P_0 e^{-\alpha L} \qquad \alpha = \alpha_t + \alpha_s$$

آزمون فراصوتی

Ultrasonic Testing (UT)

استهلاک موج

مدرس: دکتر فرهنگ هنرور
گروه ساخت و تولید
دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

واحدهای استهلاک موج

استهلاک موج در یک ماده معمولا بر حسب واحدهای نپر بر متر [1] $(\mathrm{Np/m})$ و دسی‌بل بر متر [2] $(\mathrm{dB/m})$ بیان می‌شود.

$$\alpha L = \ln\left(\frac{P_0}{P}\right)$$

اگر فاصله دو نقطه‌ای که P_0 و P اندازه‌گیری شده‌اند برابر واحد باشد، $(L=1m)$، آن‌گاه یک نپر بر متر برابر با کاهش دامنه فشار موج به نسبت $1/e$ می‌باشد و یا به عبارتی:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{1}{e}$$

که در رابطه فوق e عدد نپر است؛ پس می‌توان نوشت:

$$\alpha_{Np} = \frac{1}{L}\ln\frac{P_0}{P} \qquad (\mathrm{Np/m})$$

استهلاک موج

وابستگی ضریب استهلاک α_s با طول موج λ و قطر متوسط دانه‌ها D طبق روابط زیر است:

اگر	$\lambda >> D$	آن‌گاه	$\alpha_s \propto \overline{D}^3 f^4$
اگر	$\lambda \propto D$	آن‌گاه	$\alpha_s \propto \overline{D} f^2$
اگر	$\lambda \le D$	آن‌گاه	$\alpha_s \propto \frac{1}{\overline{D}}$

واحدهای استهلاک موج

$$\alpha_{dB} = \frac{20}{L}\log\frac{P_0}{P} \qquad (\mathrm{dB/m})$$

$$\alpha_{dB} = 8.686\,\alpha_{Np}$$

ضریب استهلاک چند ماده در فرکانس 2.25 MHz

ماده	dB/m
فولاد نرم	70
فولاد ضدزنگ	110
آلمینیوم	40
PMMA	380

ضریب استهلاک امواج عرضی معمولاً از امواج طولی بیشتر است. چرا؟