بررسی پدیده‌ی برخورد و نفوذ میله‌ی صلب با سر کروی در اجسام فلزی بی‌نهایت تراکم‌پذیر

شاهرخ حسینی هاشمی (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

این نوشتار به بررسی پدیده‌ی نفوذ میله‌های صلب در اهداف فلزی، پس از برخورد با سرعت بالا می‌پردازد. بدین منظور پدیده‌ی نفوذ میله‌های صلب با سر کروی در اهداف فلزی قابل تراکم که تحت بارگذاری، رفتار کشسانی-خمیری [۱] کامل از خود نشان می‌دهند مورد توجه قرار گرفته و معادلات مربوط به نواحی کشسانی و خمیری ایجاد شده به‌دست آمده‌اند. همچنین نتایج به‌دست آمده از این روش برای اهدافی از جنس آلومینیم ۶۰۶۱-T۶۵۱، با نتایج حاصل از آزمایش‌های تجربی مقایسه شده است.

مقدمه

مسئله‌ی برخورد اجسام با سرعت‌های بالا از اواخر جنگ جهانی دوم، به سبب قابلیت پاسخ‌گویی به سؤالات و مسائل گوناگون، مورد توجه دانشمندان قرار گرفت.

از جمله‌ی مهم‌ترین مسائلی که بررسی این مقوله می‌توانست پاسخگو باشد سئوالات مطروحه در صنایع نظامی بود. سال‌های پس از جنگ جهانی دوم را می‌توان آغاز مطالعات جامع در مورد برخورد اجسام با سرعتهای بالا و بررسی پدیده‌ی نفوذ در آنها دانست. روش‌های تحلیلی برای بررسی سازوکار نفوذ از سال ۱۹۴۵ توسط بی‌شاپ و همکارانش، آغاز شد.[۱] این افراد روش نیمه ساکن [۲] ایجاد و رشد حفره‌های متقارن کروی و استوانه‌یی را از شعاع اولیه‌ی صفر گسترش داده و نهایتاً به‌منظور بررسی نیروی وارده بر پانچ‌های نوک‌تیز مورد استفاده قرار دادند.

چندی بعد در سال ۱۹۶۵، گودیر [۲] مدل‌هایی را جهت تخمین چگونگی نفوذ کره‌های صلب در هدف‌های فلزی مورد بررسی قرار داد. وی پاسخ هدف را از روی نتایج مطالعات هیل [۳] و هاپکینز [۴] بر روی ایجاد و گسترش حفره‌ی کروی متقارن در یک جسم کشسان - خمیری تراکم‌ناپذیر تقریب زد. در بین سال‌های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۱، فورِستال و همکارانش [۵و۶] مطالعات تجربی جامعی در ارتباط با پدیده‌ی برخورد و نفوذ اجسام انجام دادند که نتایج حاصل از نظریه‌ی ارائه شده در این نوشتار، با نتایج آنها مقایسه شده است. همچنین از جمله مطالعات مربوط دیگر، می‌توان به کارهای اندرسن و واکر [۷] و چن [۸] اشاره کرد.

انبساط حفره‌ی کروی پویای متقارن در اجسام جامد تراکم‌پذیر

روابط اصلی: در اثر برخورد، یک گودال یا حفره‌ی متقارن در جسم فلزی بی‌نهایت از شعاع اولیه‌ی صفر با سرعت ثابت V شروع به رشد می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود این انبساط حفره موجب پدید آمدن نواحی کشسان و خمیری در جسم می‌شود.

ناحیه‌ی خمیری توسط دوایری با شعاع‌های $r = vt$ و $r = ct$ محصور می‌شود. دوایر با شعاع‌های $r = ct$ و $r = c_d t$ نیز محدوده‌ی ناحیه‌ی کشسان را مشخص می‌سازند. چنانچه در ماده‌ی مورد مطالعه در ناحیه‌ی خمیری رابطه‌ی فشار هیدروستاتیک و کرنش حجمی خطی باشد و نیز معیار تسلیم فون‌میسز به‌کار گرفته شود:

$$P = K\eta = K(1 - \frac{\rho_0}{\rho}) \qquad (1)$$

$$P = \frac{1}{3}(\sigma_r + \sigma_\theta + \sigma_\phi) \;\; ; \sigma_\theta = \sigma_\phi \qquad (2)$$

$$\sigma_r - \sigma_\theta = Y \qquad (3)$$

که تنش‌های فوق چنانچه فشاری باشند، مثبت در نظر گرفته می‌شوند.

رفتار ناحیه‌ی خمیری

معادلات اندازه‌ی حرکت و بقای جرم در مختصات اویلری به‌صورت:

$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} + \frac{2(\sigma_r - \sigma_\theta)}{r} = -\rho \frac{Dv}{Dt} \qquad (4)$$