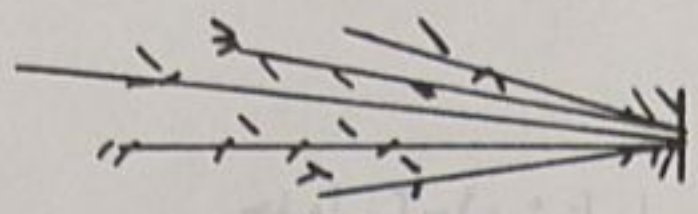
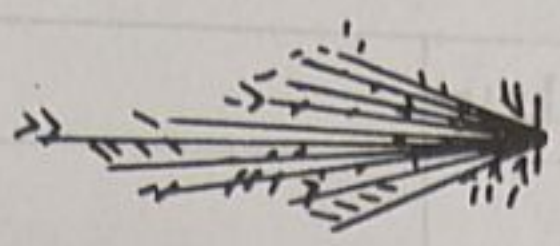
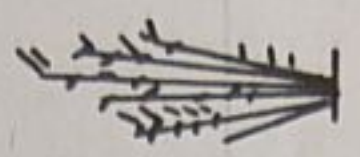


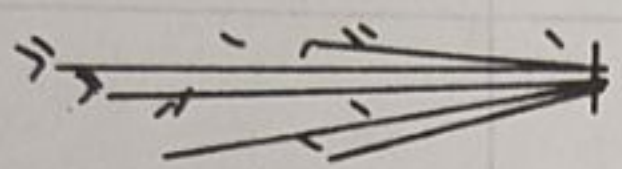
LOW CARBON
(MACHINE)



HIGH CARBON
(TOOL)



CAST IRON

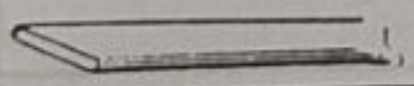
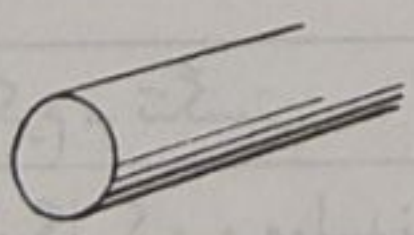


STAINLESS

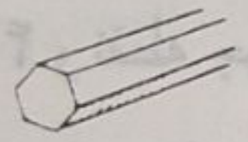
شکل۲-۵: شناسایی فولادها توسط آزمایش جرقه

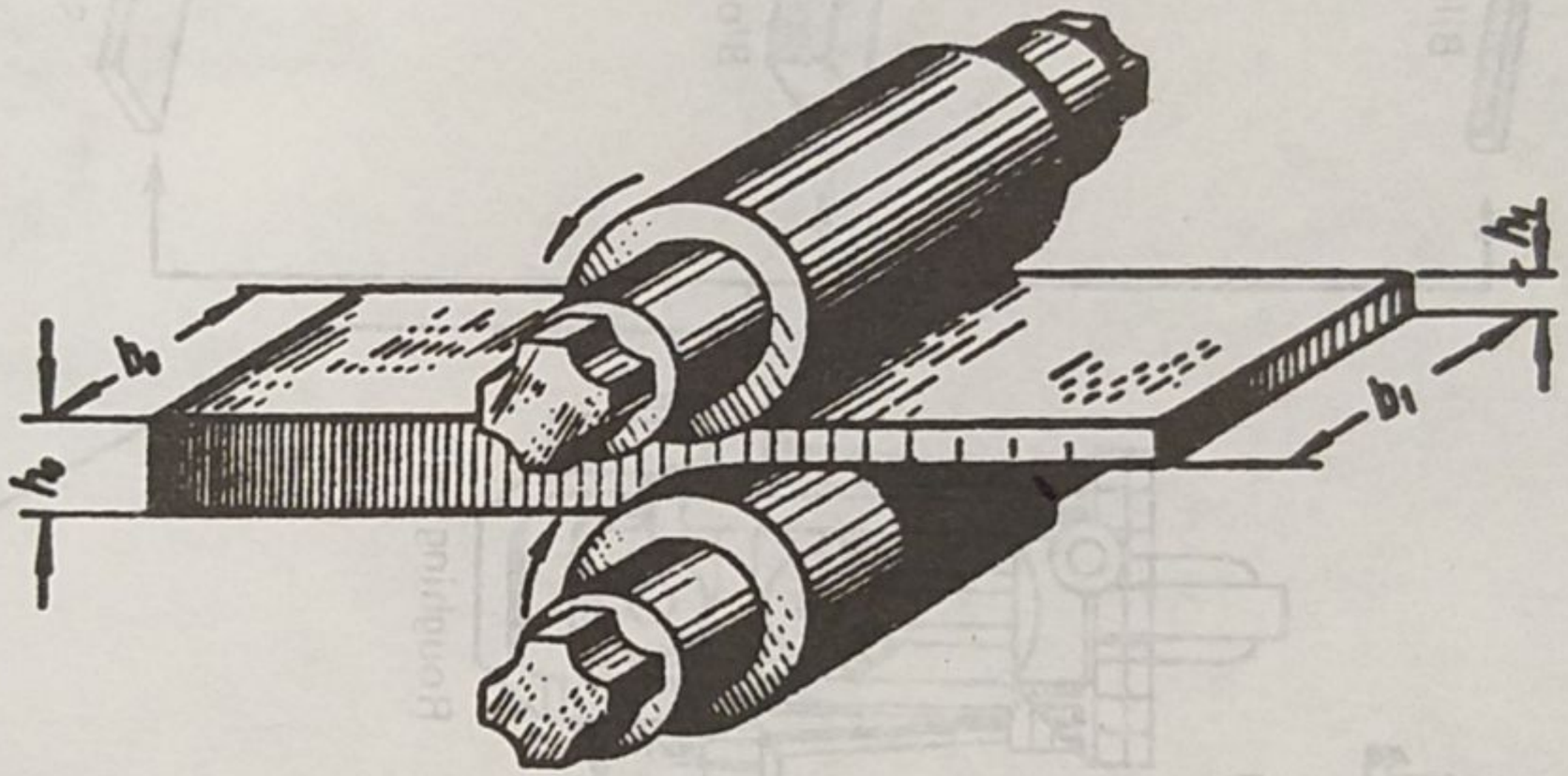
جدول ۲-۲: شکلهای عمومی فلزات مورد استفاده در صنعت

الف ـ فولاد نرم و فلزات غیرآهنی

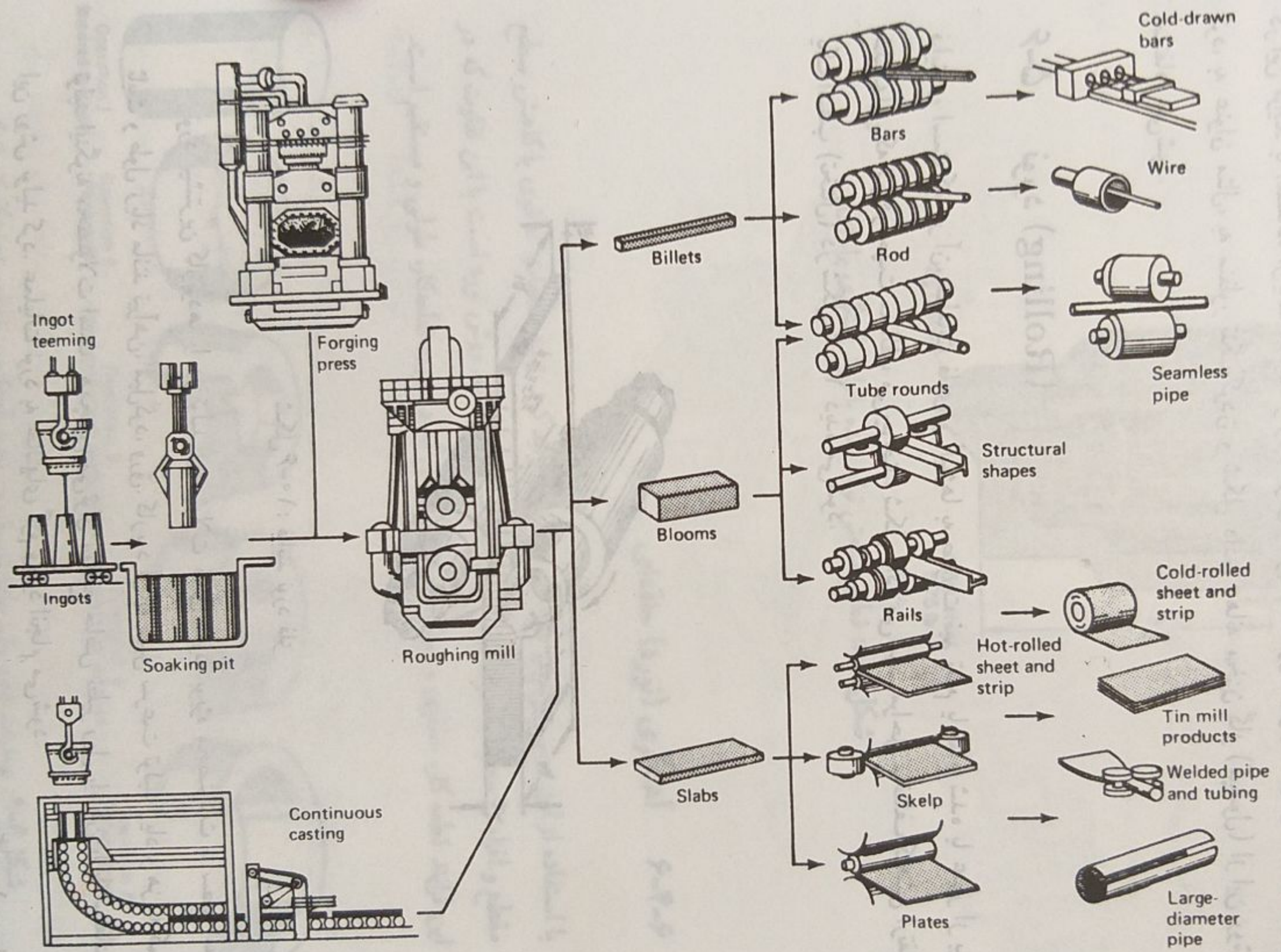
مشخصات	اندازه استاندارد	ماده
فولادنرم AISI C۱۰۱۸ نورد شده با پوشش اکسیدی	$\frac{1}{8} \times \frac{3}{4}$'' و $\frac{1}{8} \times \frac{1}{2}$'' و $\frac{1}{8} \times 1$'' برای میز ابزار یا پروژه‌هایی که نیاز به آهن کار شده دارند	تسمه (نوار، ورق، نورد گرم شده) 
AISI C۱۰۱۸ نورد گرم با پوشش اکسیدی یا تمام سرد شده یا آلومینیومی	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$'' و $\frac{3}{4} \times \frac{1}{2}$'' و $\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$'' و 1×1'' ابزارهای کوچک که برای سخت شدن انتخاب می‌شوند یا برای آهن کار شده	چهار پهلو
AISI C۱۰۱۸ نورد گرم با پوشش اکسیدی یا تمام سرد شده آلومینیومی	1'' و $\frac{3}{4}$'' و $\frac{1}{2}$'' ابزارهای ماشینکاری قطعاتی که نیاز به سخت کردن ندارند	پروفیلهای سنگین 
AISI C۱۰۱۸ تمام سرد شده	$\frac{1}{2} \times 2$'' و $1\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$'' ابزارهای کوچک	مسطح
AISI C۱۰۱۵ نورد گرم شده آلومینیومی	$\frac{1}{8}$'' و $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$'' $2 \times 2 \times \frac{3}{16}$'' برای تهیه شکل اصلی میزکار	نبشی

ب ـ فولاد پرکربن و فولاد ابزار

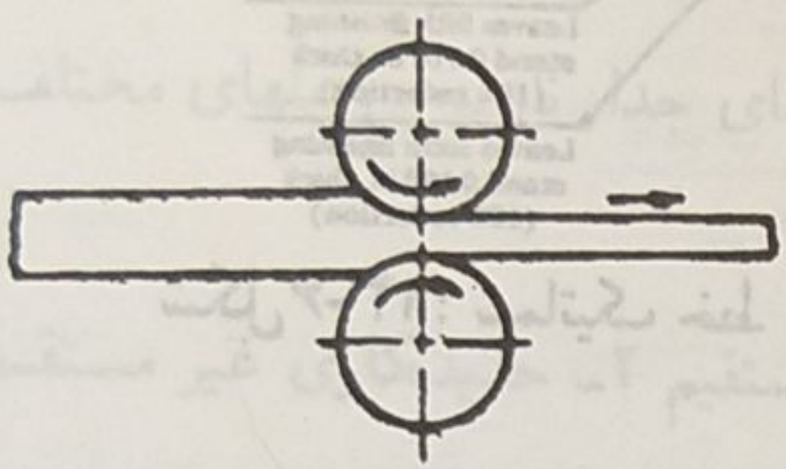
AISI C۱۰۹۵ برای فولاد ابزار (در آب سرد شده)	$\frac{1}{8} \times 1\frac{1}{2}$ اینچ برای چاقو	مسطح
AISI C۱۰۹۵ برای فولاد ابزار (سخت شده در آب)	$\frac{5}{8}$ و $\frac{9}{16}$ و $\frac{1}{2}$ اینچ برای سوراخکاری	میل‌گرد فولادی
AISI C۱۰۹۵ برای فولاد ابزار (سخت شده در آب)	$\frac{3}{4}$ یا $\frac{1}{2}$ اینچ برای سوراخکاری یا فولاد قلم	شش‌گوش 
AISI C۱۰۹۵ برای فولاد ابزار (سخت شده در آب)	$\frac{5}{8}$ یا $\frac{1}{2}$ و $\frac{3}{8}$ اینچ برای سوراخکاری یا فولاد قلم	هشت گوش
سطح پولیش خورده، فولاد ابزار	$\frac{3}{8}$ و $\frac{1}{4}$ و $\frac{3}{16}$ و $\frac{1}{8}$ اینچ اندازه‌های مختلف	میله‌حفاری



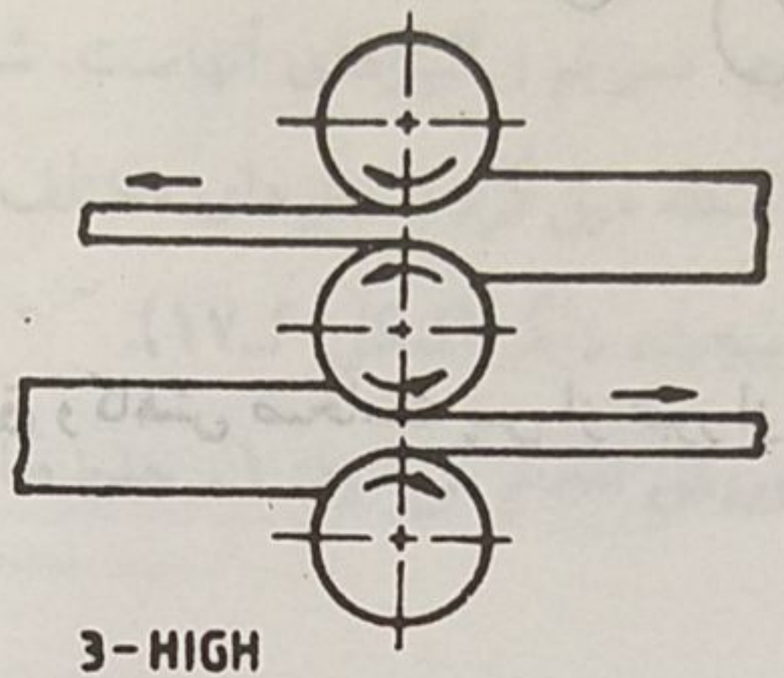
شکل۶-۱۰: فرایند نورد فلز



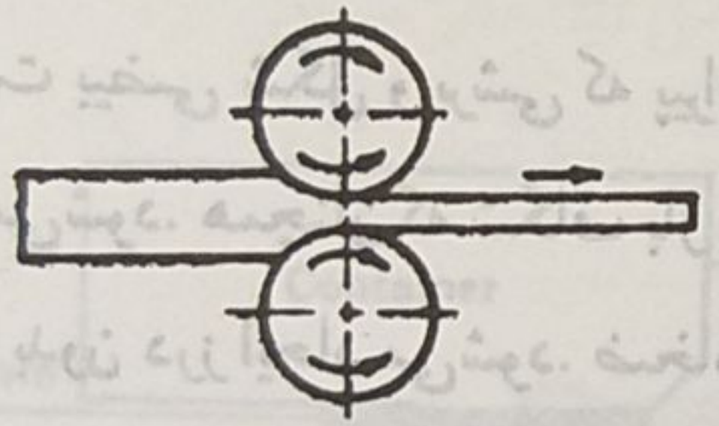
شکل۶-۱۱: شماتیک مراحل تولید مصنوعات آهنی به روش نورد



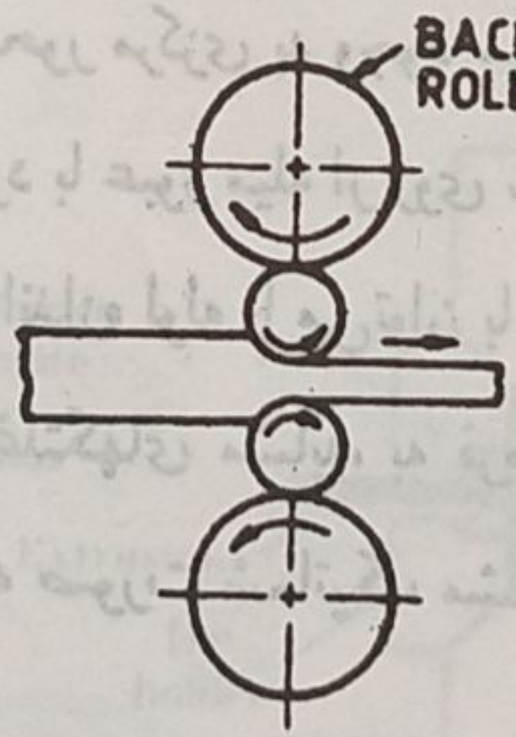
2-HIGH



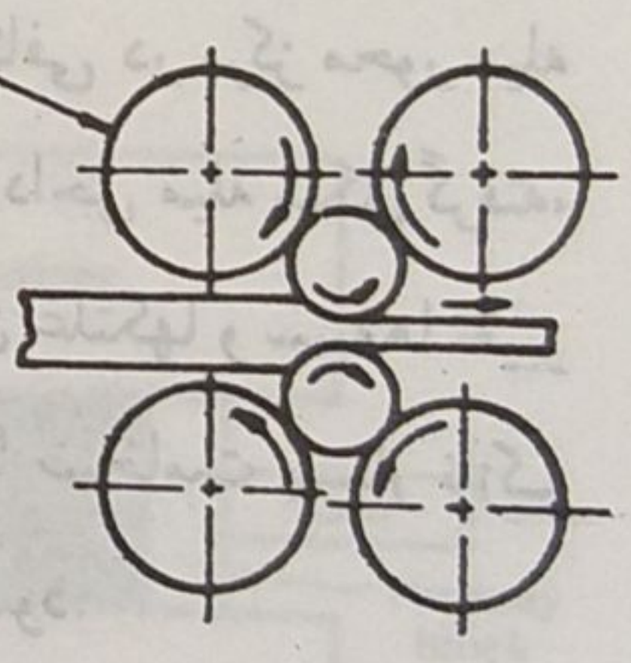
3-HIGH



2-HIGH REVERSIBLE

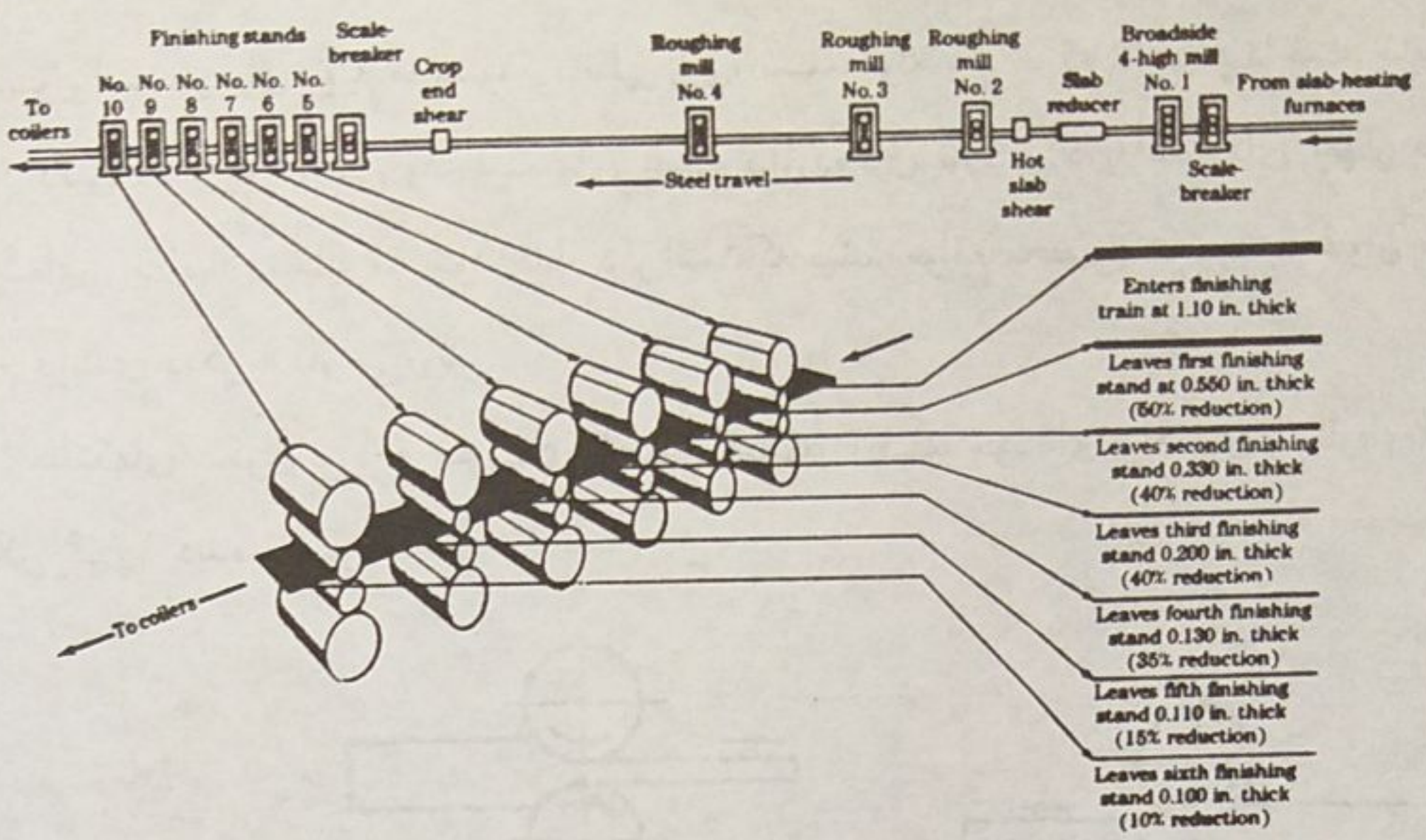


4-HIGH



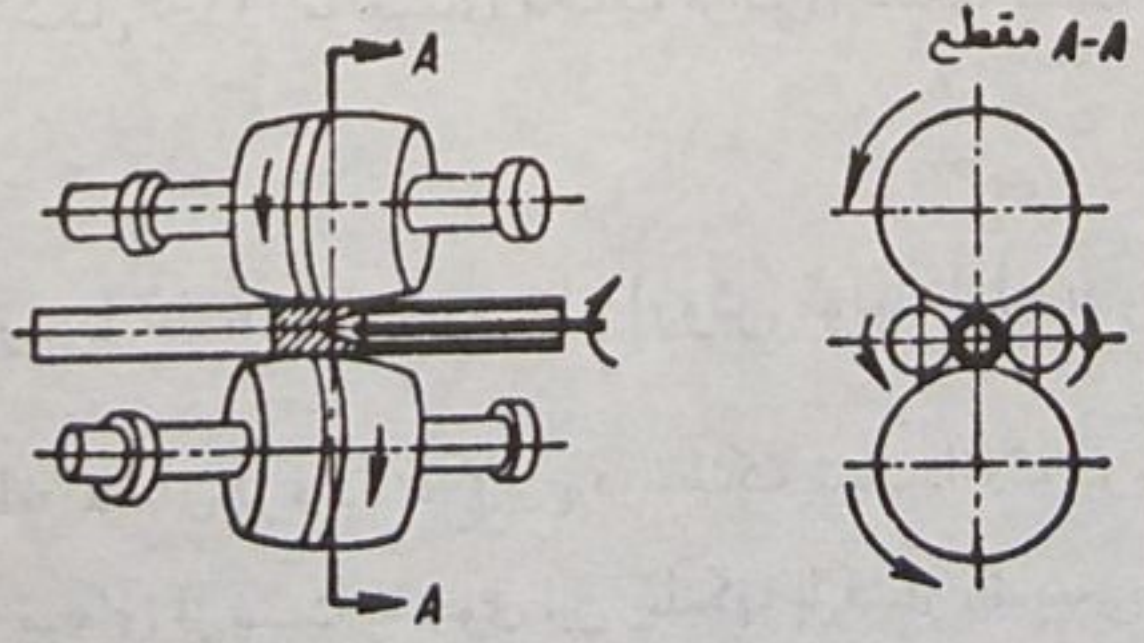
CLUSTER

شکل۶-۱۲: موقعیتهای مختلف قرارگیری غلتکها نسبت به یکدیگر

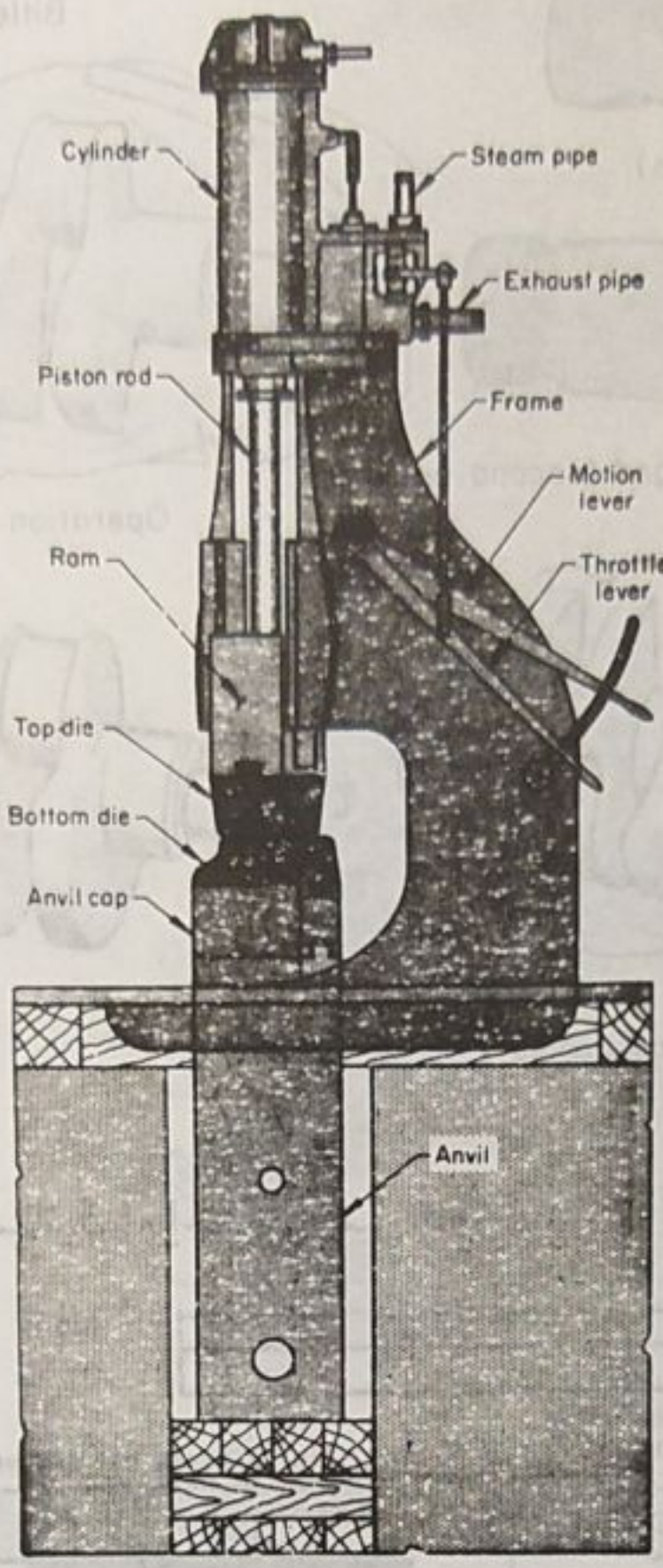


شکل۶-۱۳: شماتیک خط نورد ورق و کاهش ضخامت پس از عبور از ۶ ایستگاه پایانی

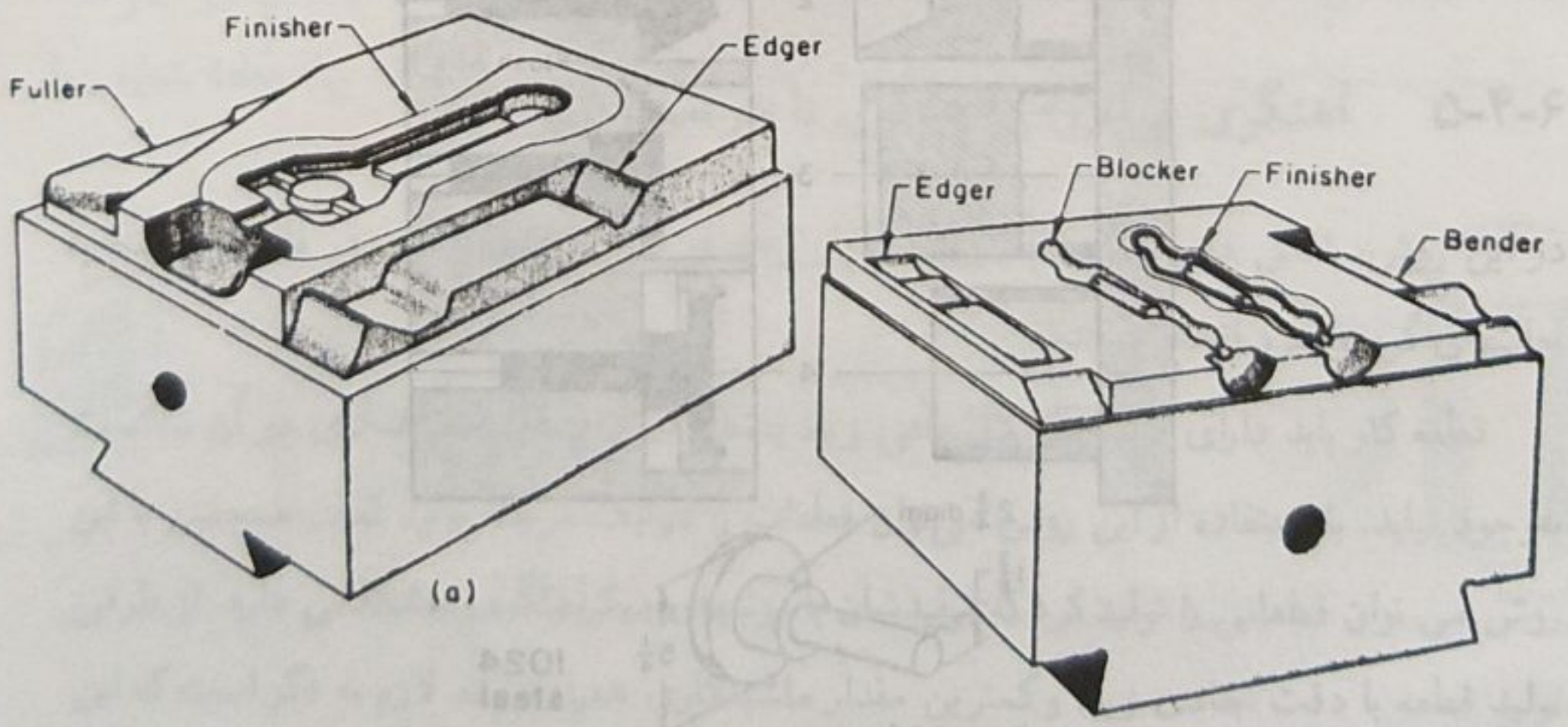
حالت بیضی شکل و برشی که پیرامون محور مرکزی به وجود می آید، شکافی در مرکز محور میله باز می‌شود. همچنان که شکاف باز می‌شود با عبور میله از روی سنبه بلند، داخل میله شکل گرفته، لوله بدون درز ایجاد می‌شود. ضخامت و اندازه لوله را می‌توان با تغییر دادن غلتکها و سنبه‌ها تغییر داد و در مراحل بعدی حتی با عبور از غلتکهای مشابه، به فرم لوله‌ای با ضخامت بسیار نازک دست یافت. این عملیات در شکل زیر به صورت شماتیک مشاهده می‌شود.



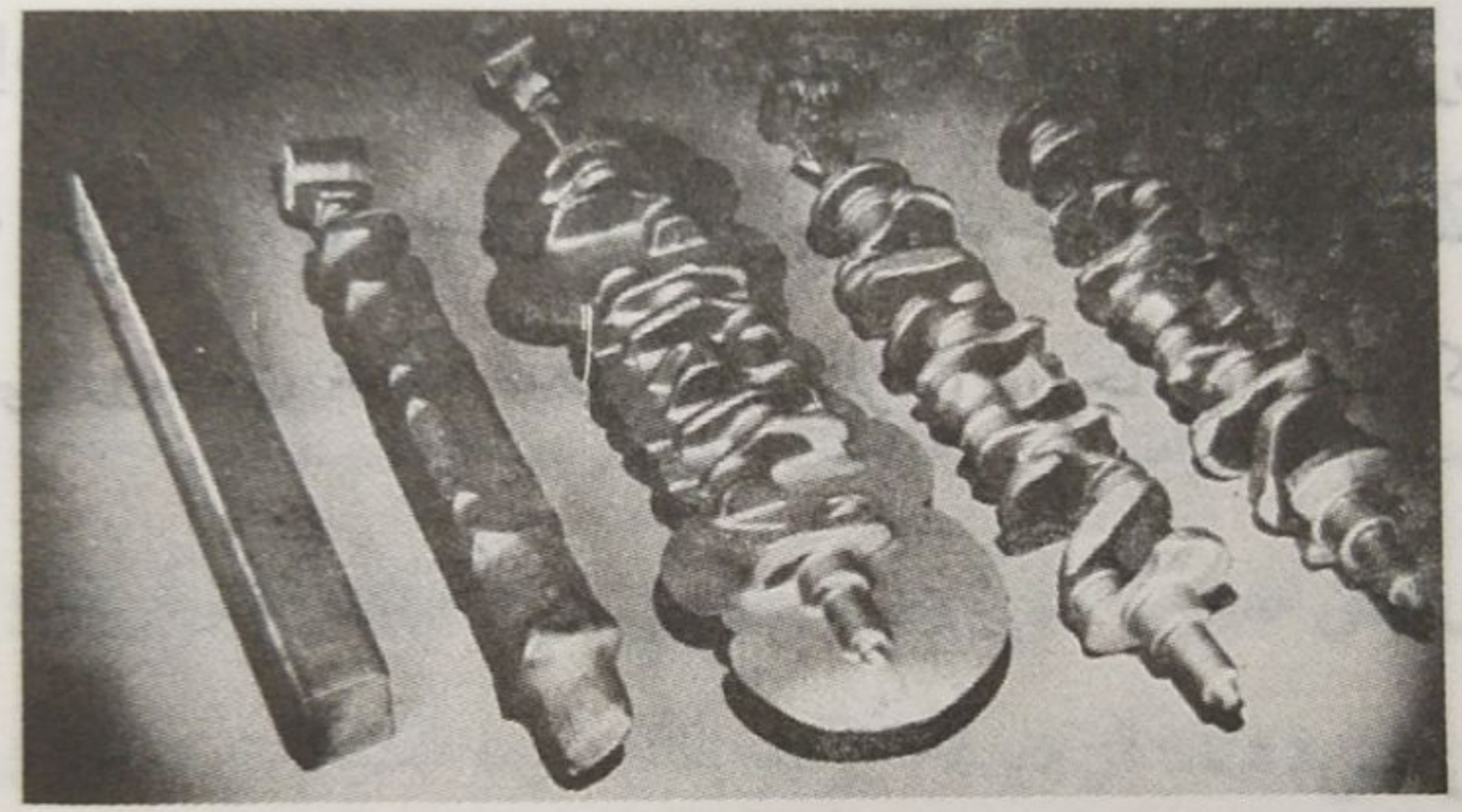
شکل۶-۱۴: شماتیک سوراخ کردن شمش در ماشین سوراخ کننده غلتکی برای تهیه پوسته لوله‌ها



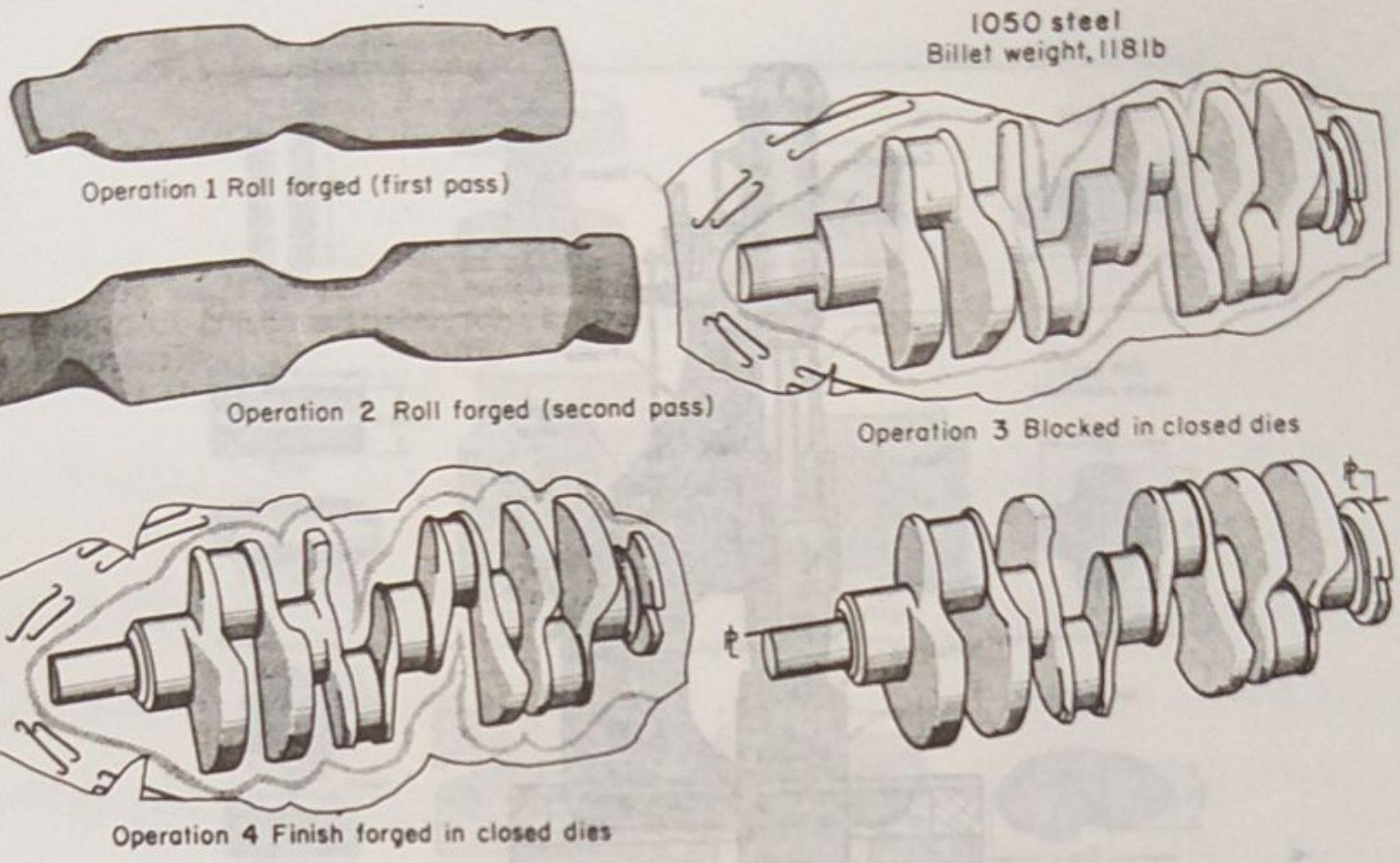
شکل۶-۳: شماتیک چکش مکانیکی مورد استفاده در آهنگری با قالب روباز



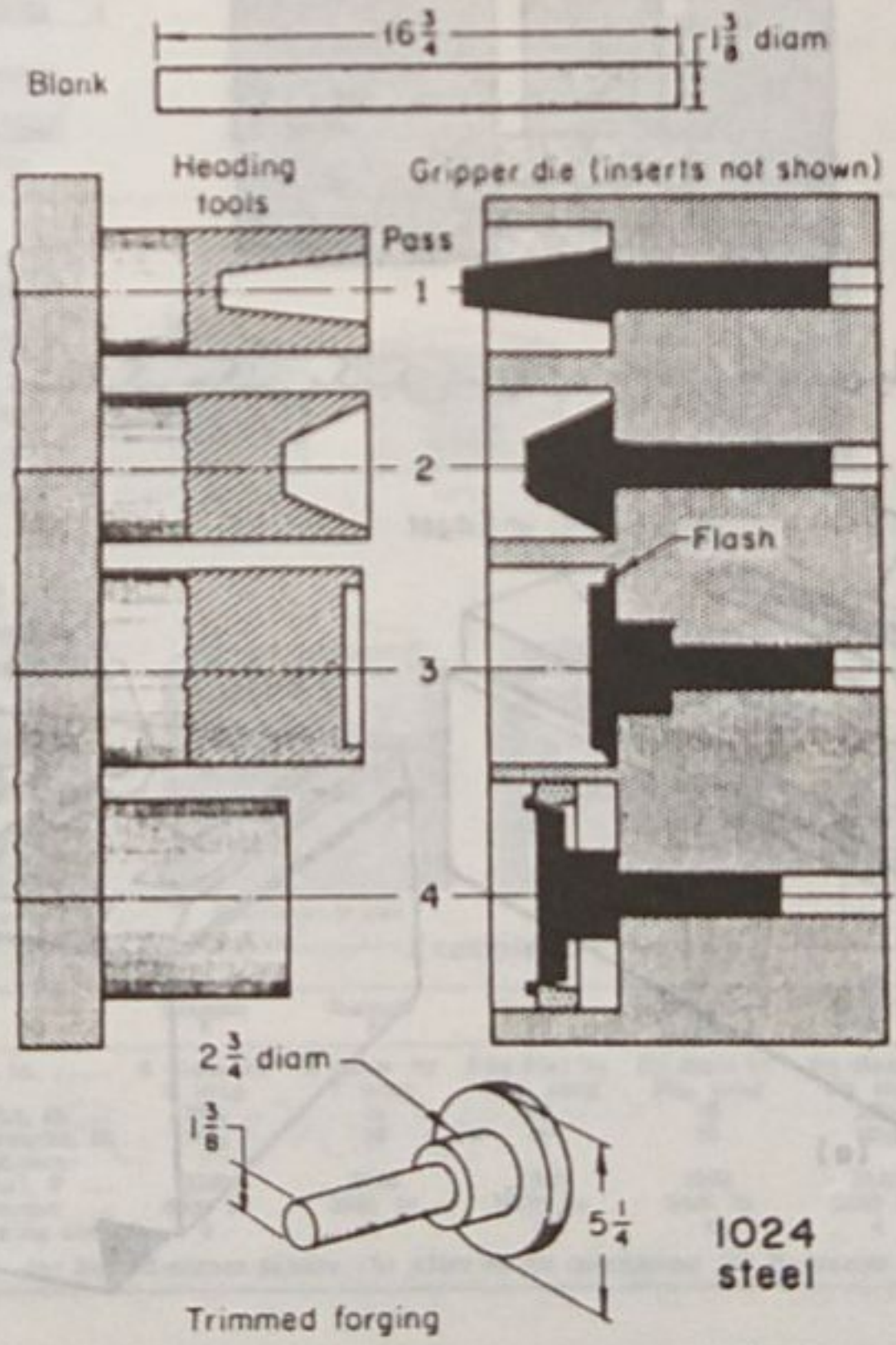
شکل۶-۴: شماتیک قالبهای بسته در فرایند آهنگری



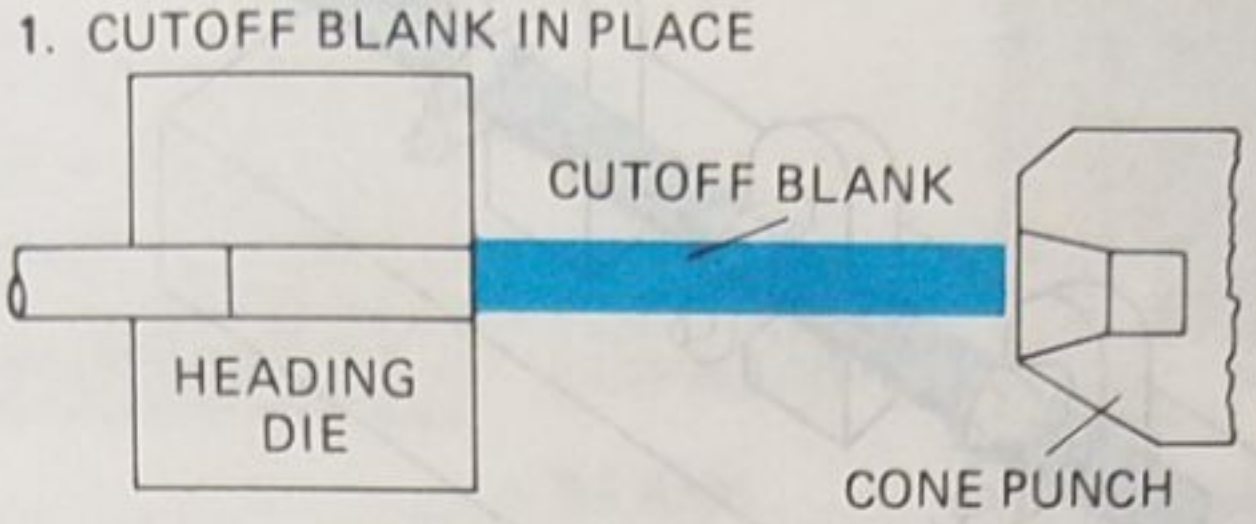
شکل۶-۱: مراحل تولید میل لنگ به روش آهنگری



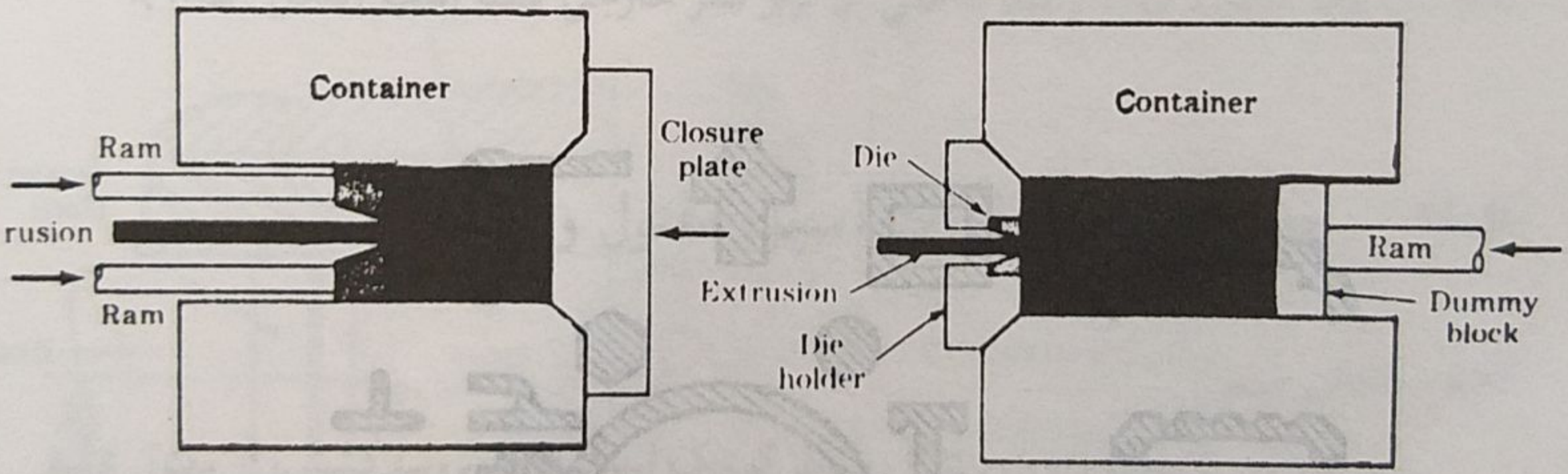
شکل۶-۵: شماتیک مراحل‌تولید میل لنگ‌در فرایند آهنگری باقالبهای بسته



شکل۶-۶: مراحل فرایند آهنگری افقی



شکل۶-۳۰: فرایند کله‌زنی دو مرحله‌ای

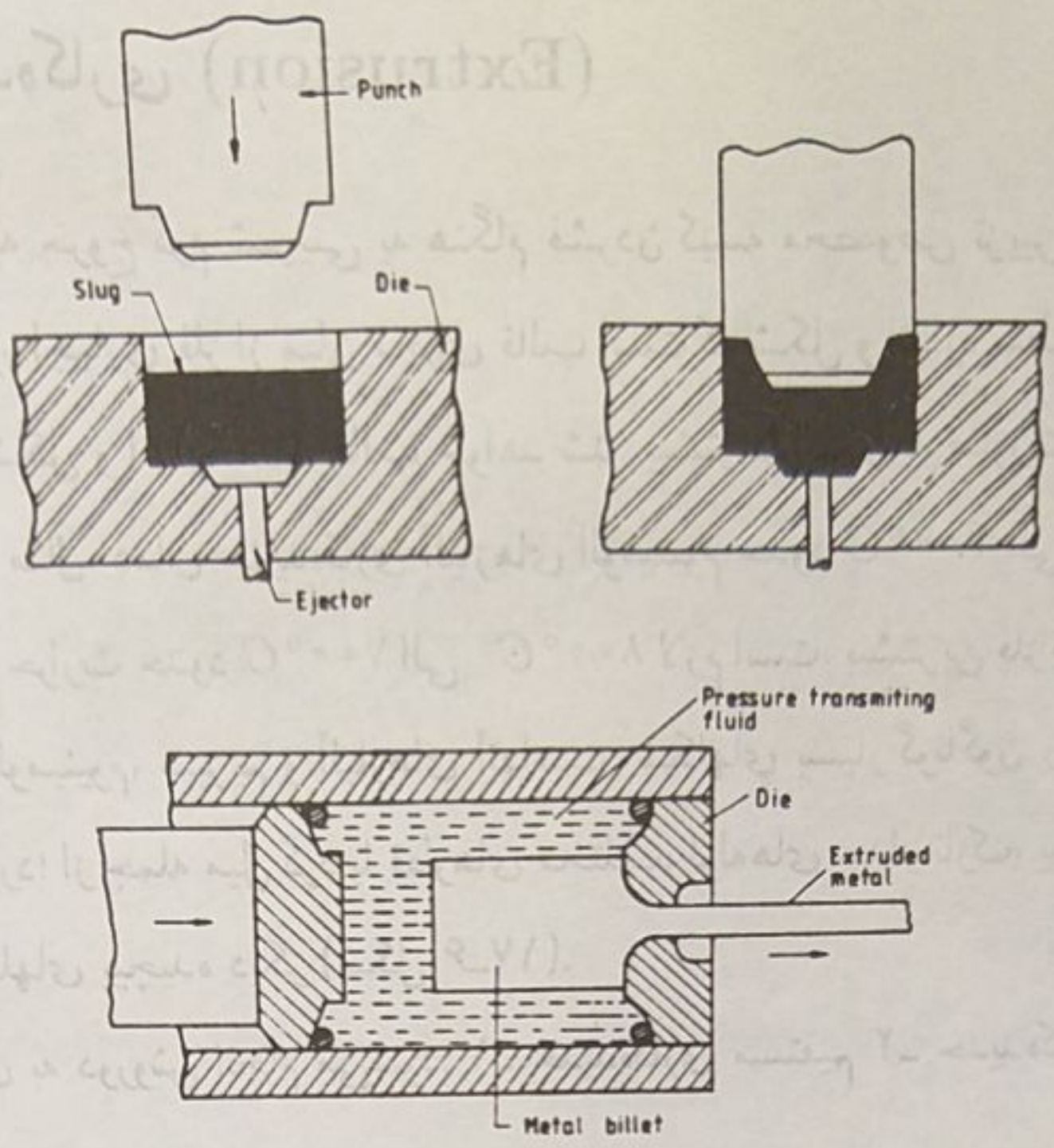


ب) غیرمستقیم

الف) مستقیم

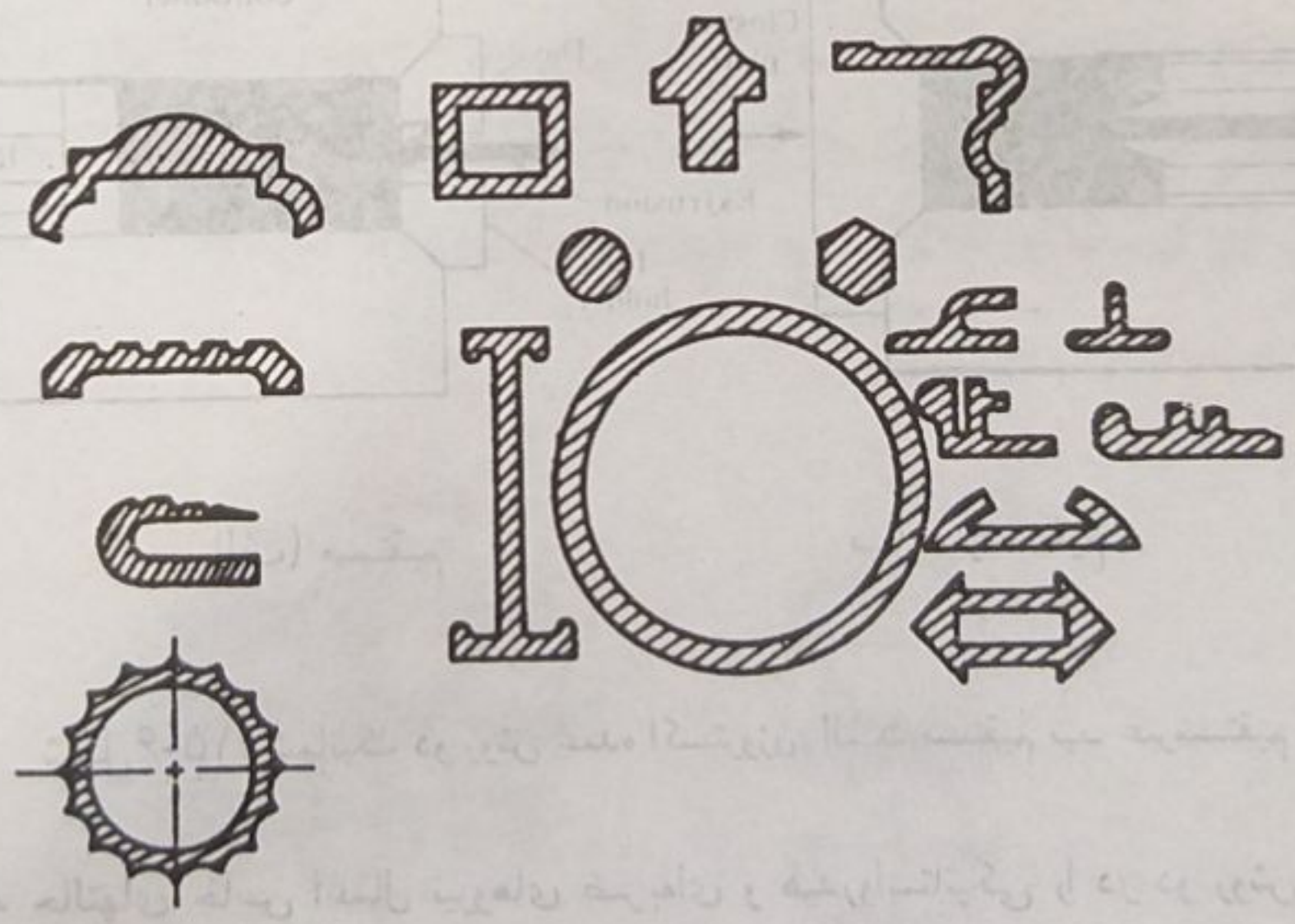
شکل۶-۱۵: شماتیک دو روش عمده اکستروژن: الف- مستقیم ب- غیرمستقیم

الف-

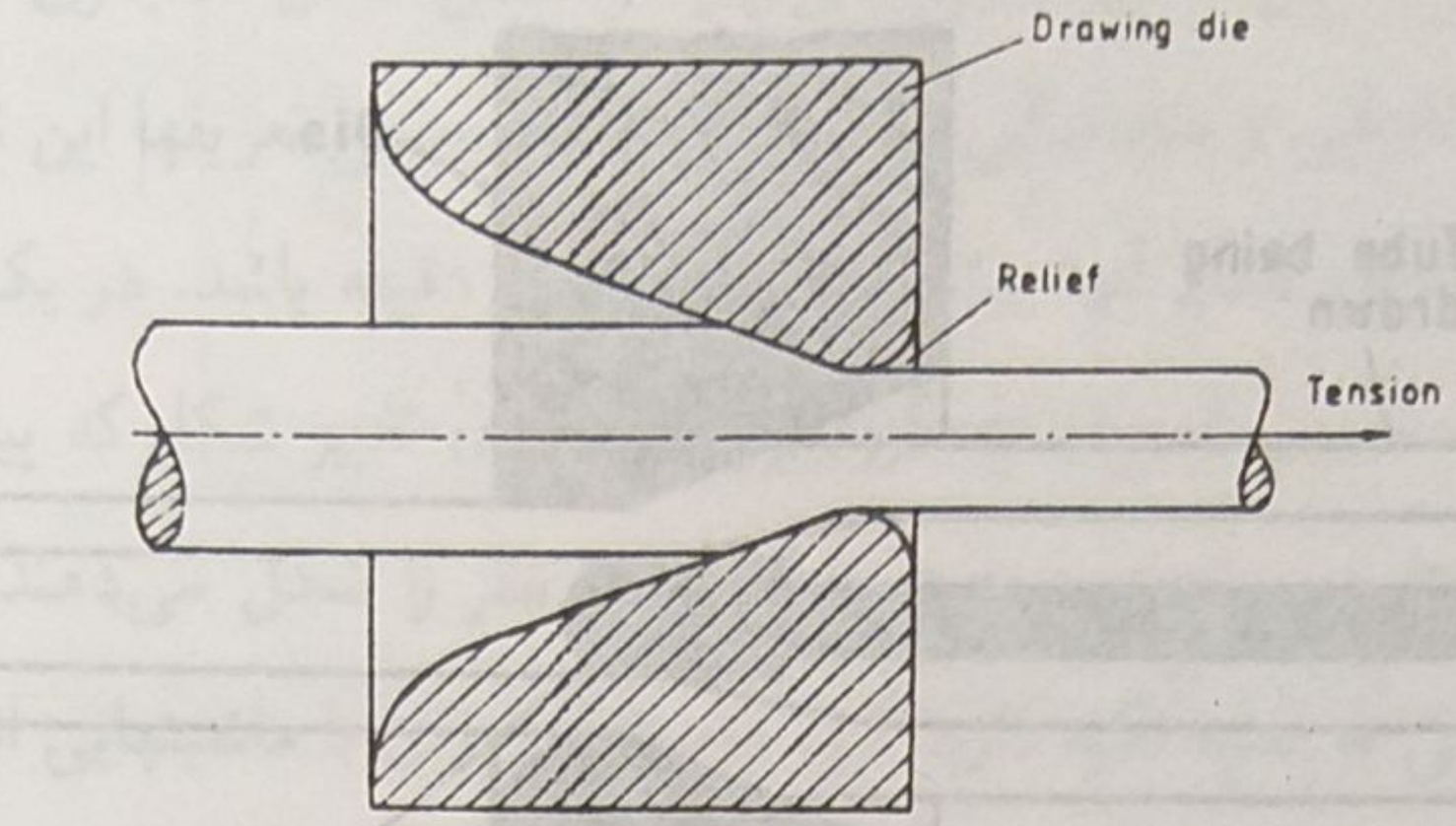


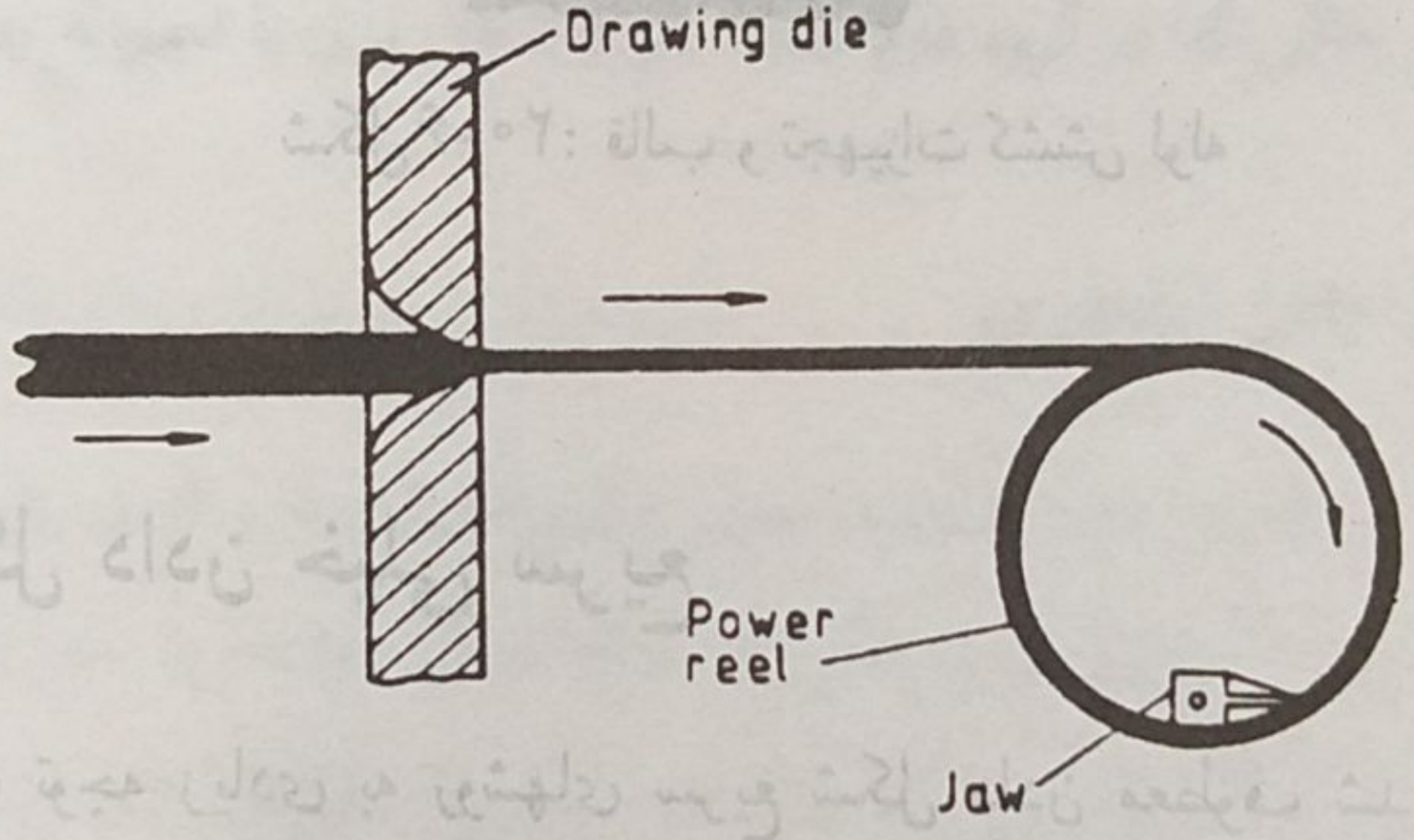
ب-

شکل۶-۱۶: الف- فرایند اکستروژن سرد ب- فرایند اکستروژن هیدرواستاتیک

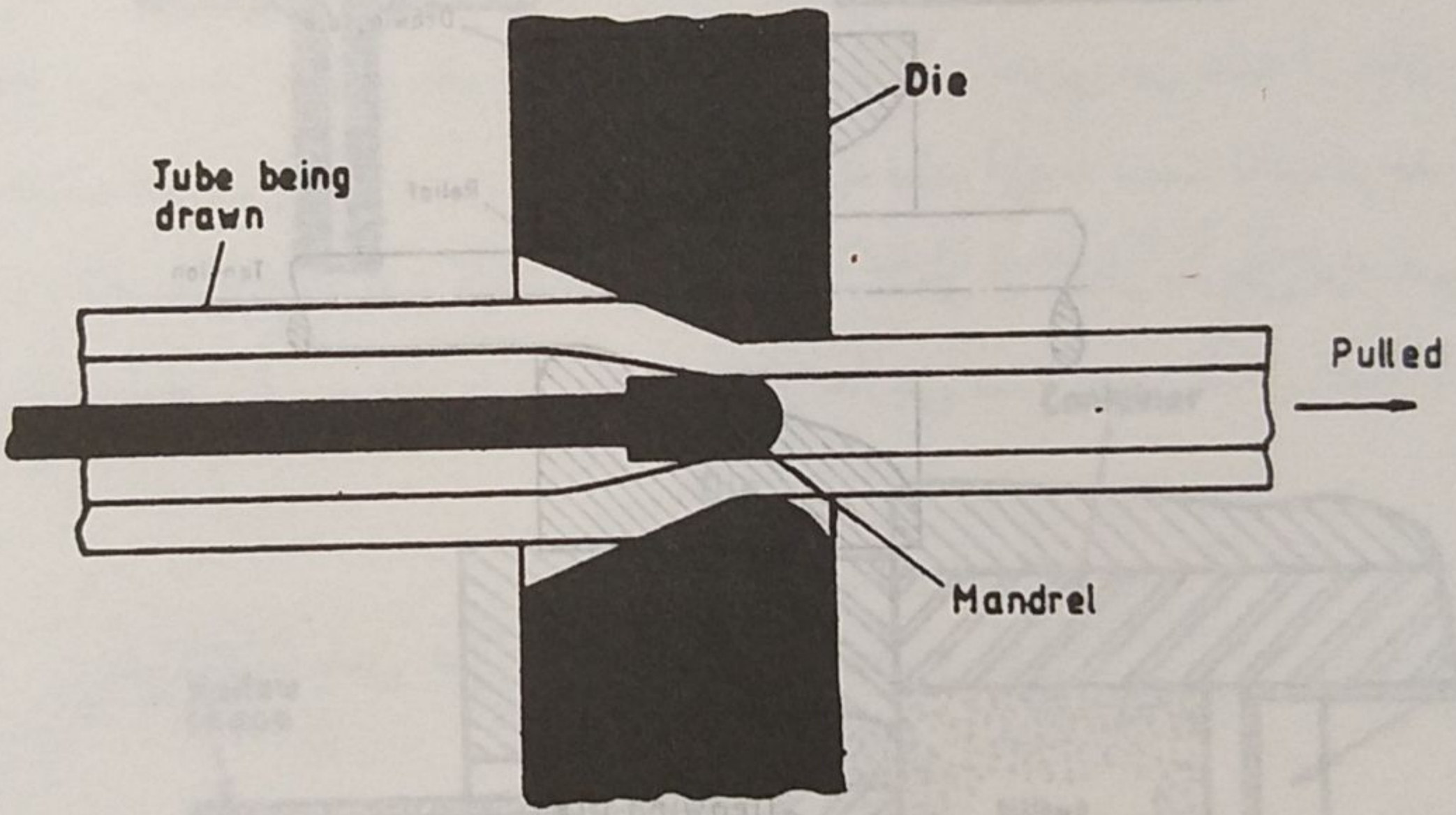


شکل۶-۱۷: شماتیک مقاطع تولید شده به‌روش اکستروژن

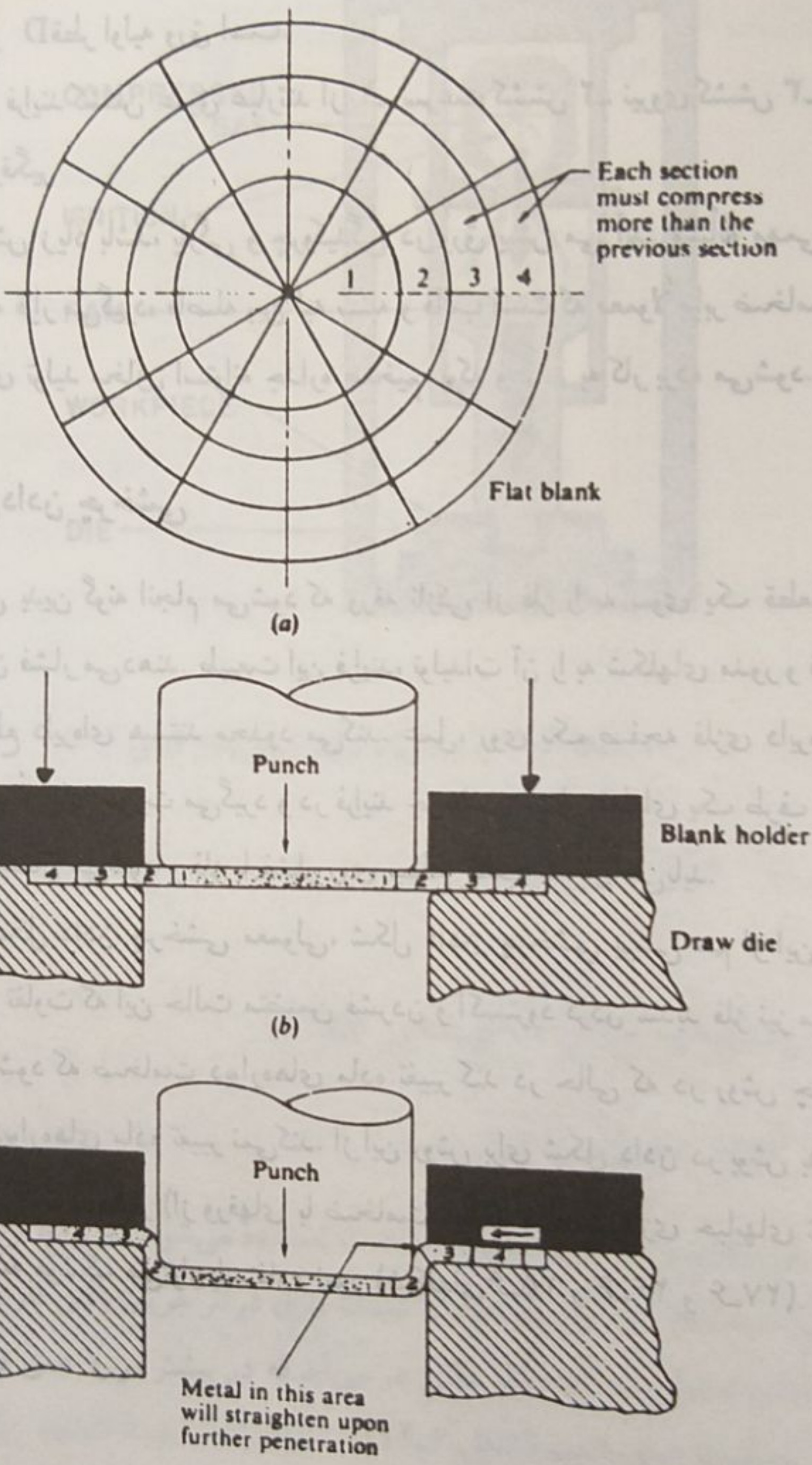




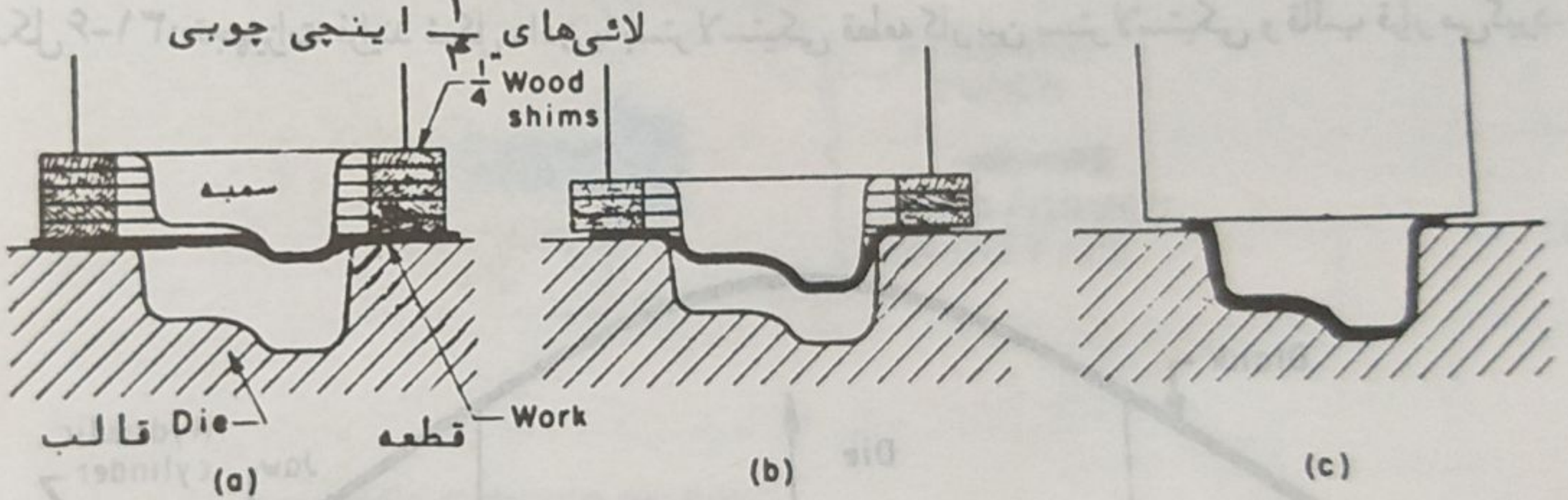
شکل۶-۱۹: قالب و تجهیزات کشش و تولید سیم



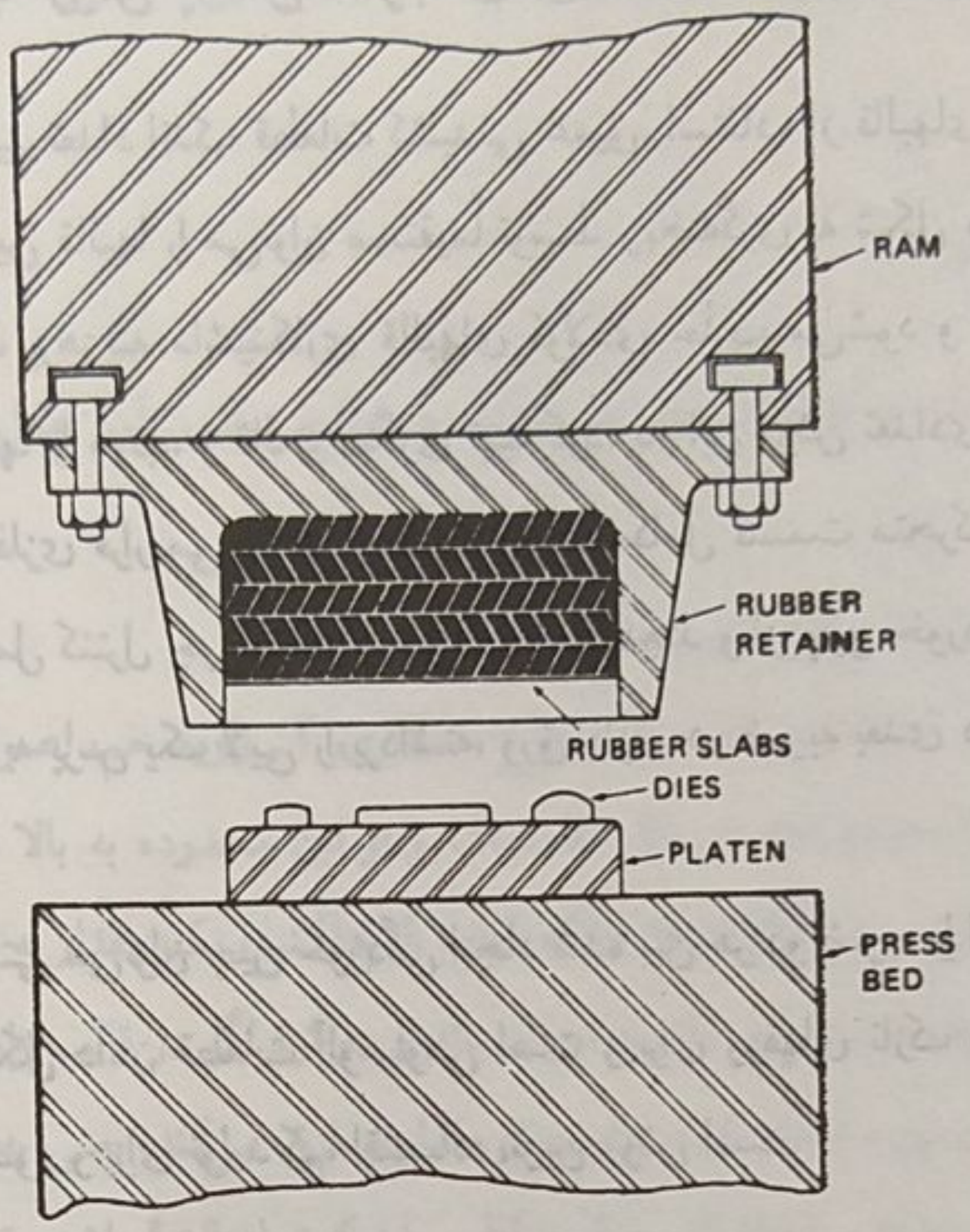
شکل۶-۲۰: قالب و تجهیزات کشش لوله



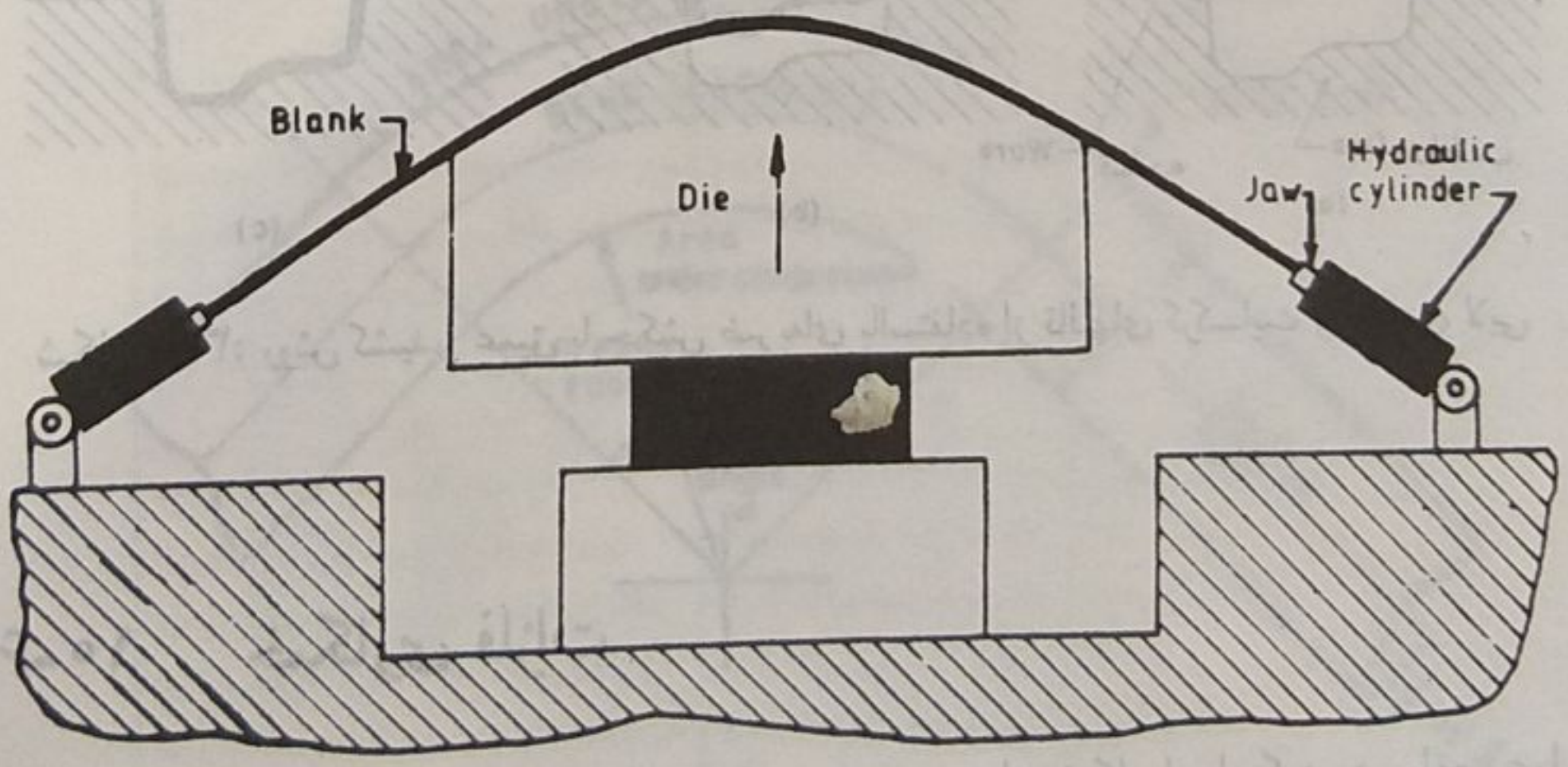
شکل۶-۲۴: شماتیک سیلان فلز در کشش عمیق



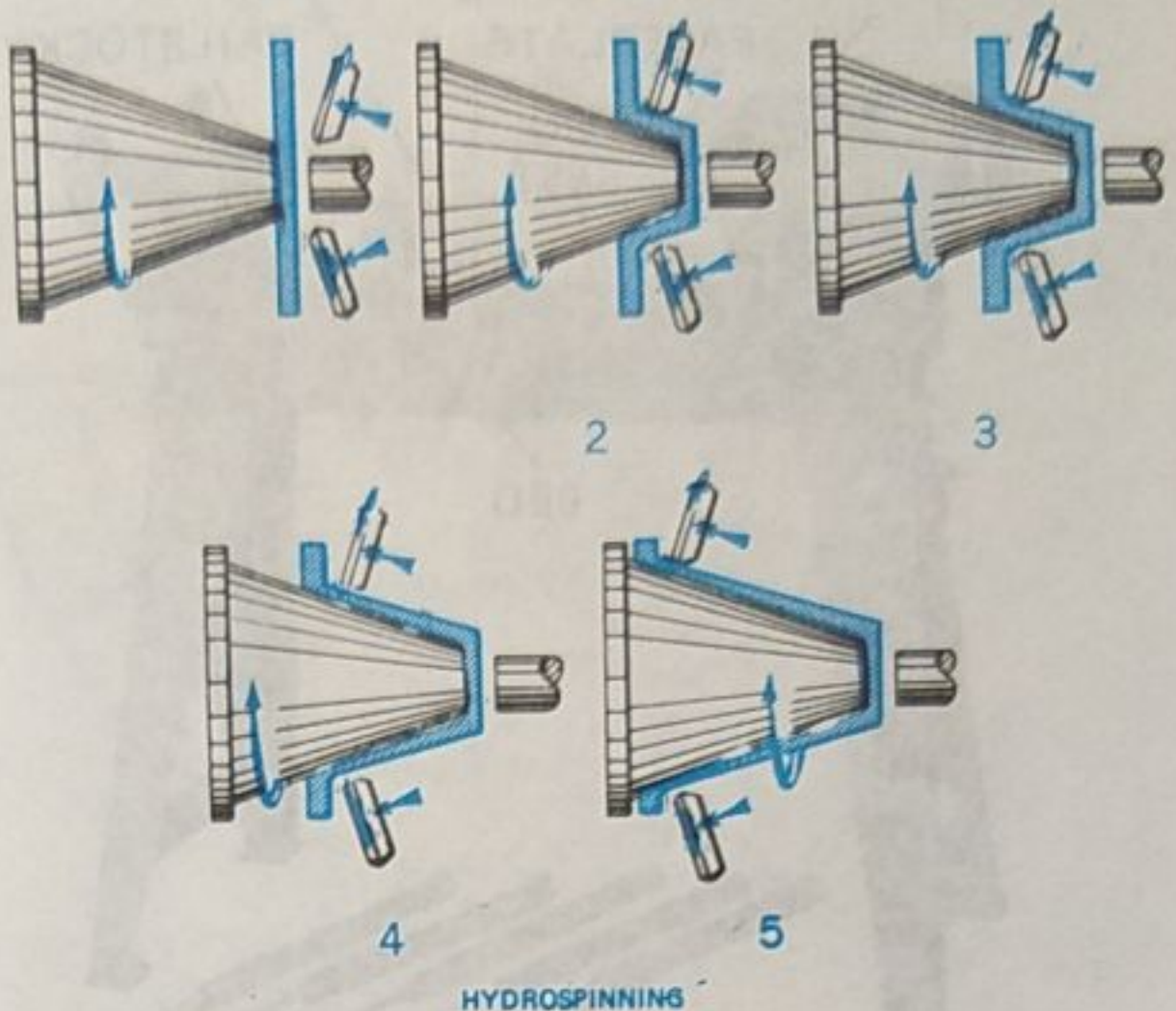
شکل ۶-۳۳: روش کشیدن عمیق با چکش ضربه‌ای بااستفاده از قالبهای کرکسایت و تعدادی لایی



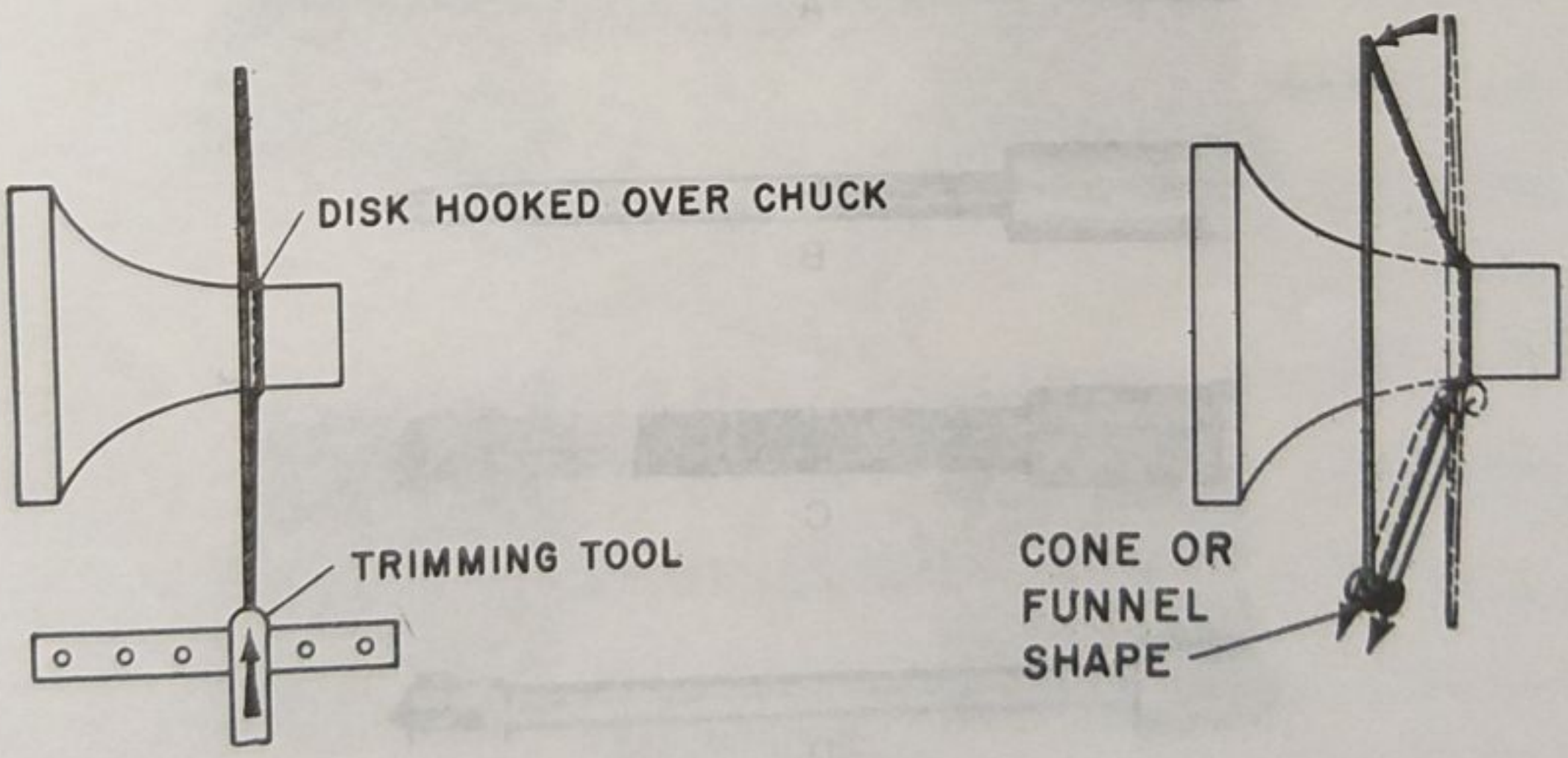
شکل۶-۳۱: تجهیزات فرایند شکل دادن با بستر لاستیکی قطعه کار بین بستر لاستیکی و قالب قرار می‌گیرد.



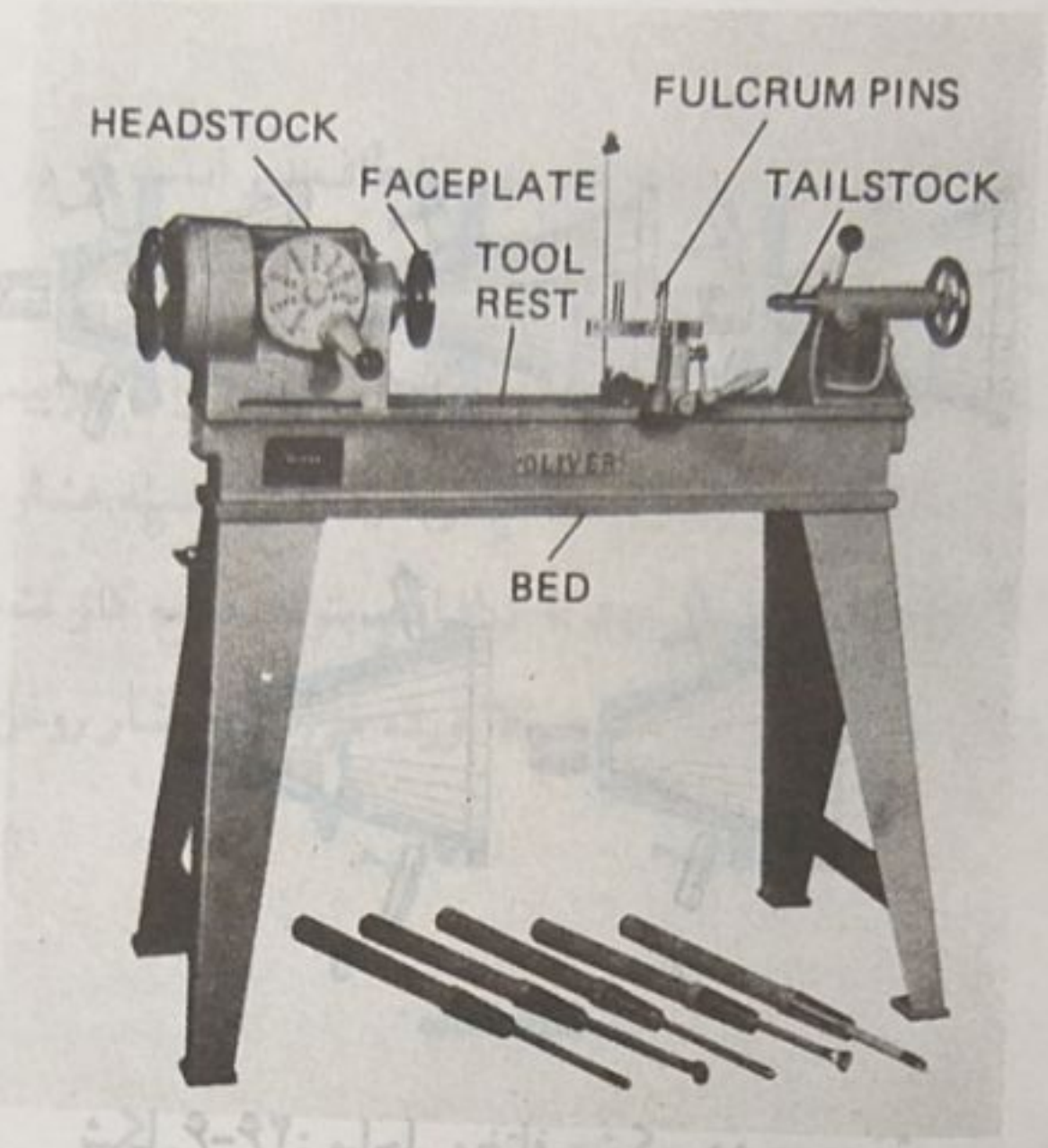
شکل۶-۳۲: فرایند شکل دادن کششی



شکل۶-۲۶: مراحل مختلف شکی دهی چرخشی



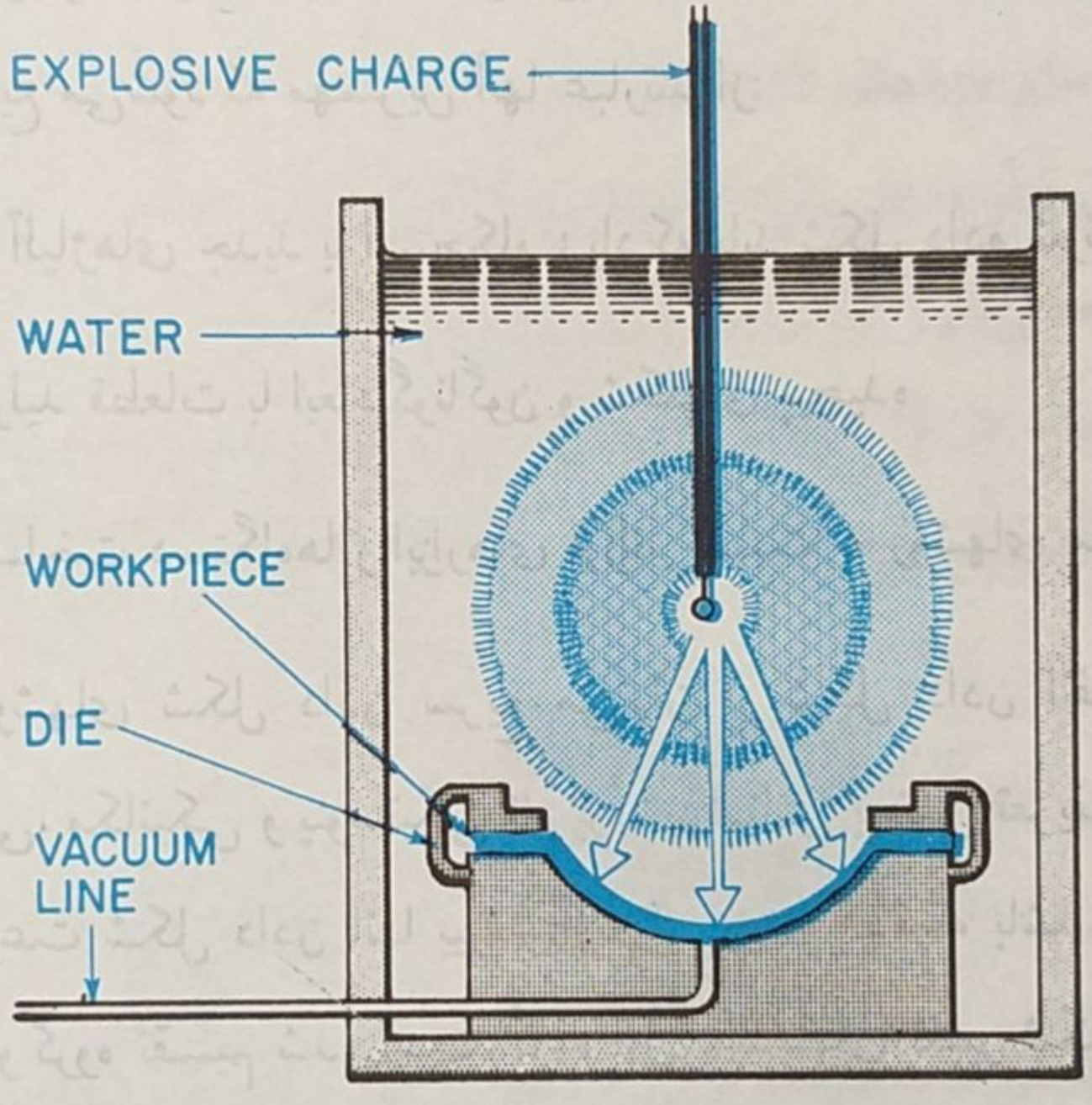
شکل۶-۲۷: صفحه فلزی قبل وبعد ازشکل دهی دیده می‌شود.



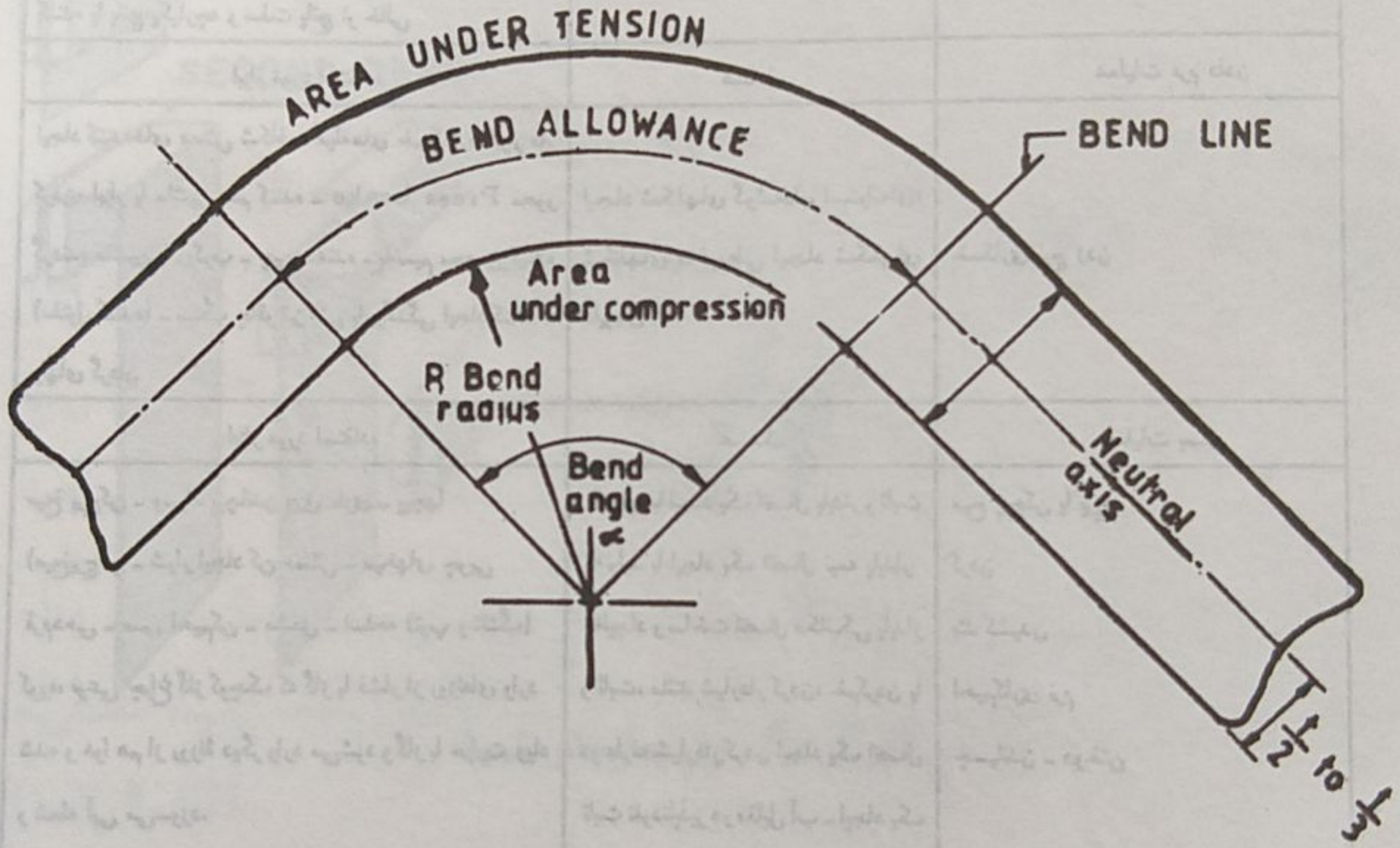
الف

ب

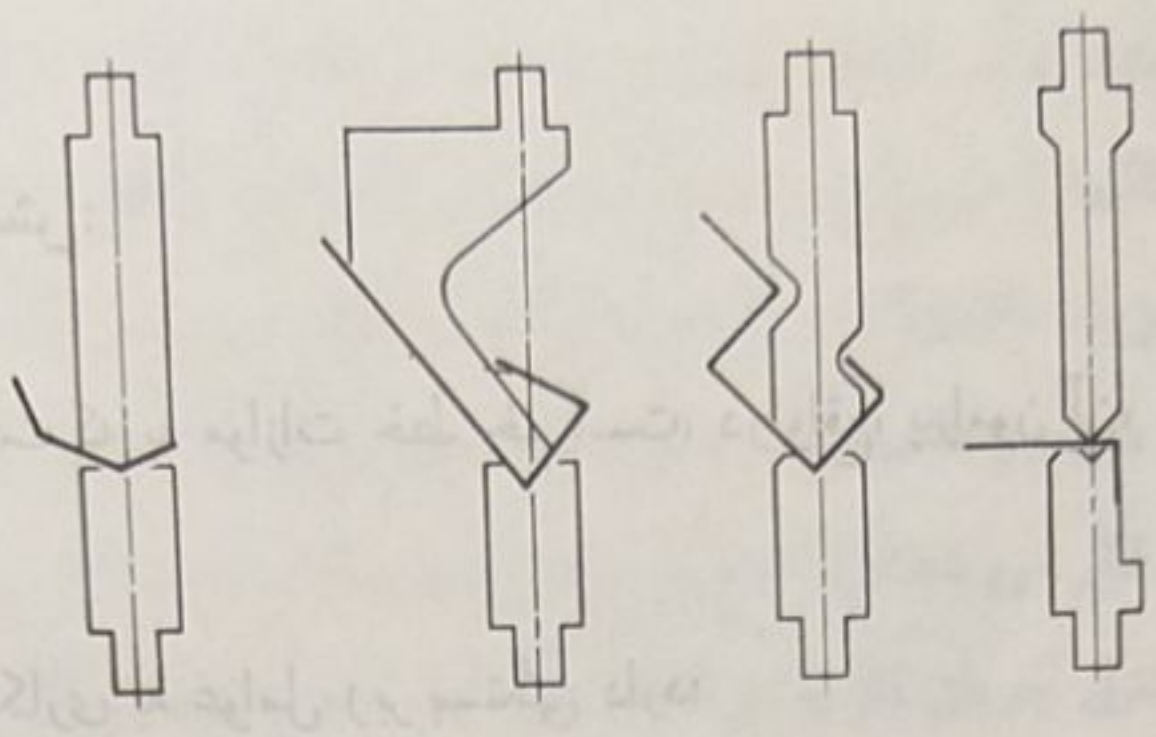
شکل۶-۲۵: الف- شماتیک دستگاه شکل‌دادن چرخشی ب- ابزار مورد استفاده در این فرایند



شکل ۶-۲۱: فرایند شکل دادن انفجاری که در آن از انرژی آزاد شده مواد منفجره برای شکل دهی استفاده می‌شود.



شکل۶-۳۴: اجزای مشخصه خم (t ضخامت قطعه است).



شکل۶-۳۵: مثالهایی از انواع فرایندهای خمکاری

جدول ۶-۱: عملیات روی ورقهای فلزی

ابزار مورد استفاده	هدف	عملیات
قیچی‌های دستی، بزرگ، قوی هموار و گوشه‌دار، قیچه حلب یا قیچی قوطی، قیچی‌های دایره‌ای و ایجاد کننده شکاف، سوراخ کننده یا پانچ یکپارچه و سفت پانچ تو خالی	بریدن به اندازه‌های جداگانه ایجاد سوراخ	بریدن قیچی کردن پانچ کردن یا سوراخ کردن
ابزار مورد استفاده	**هدف**	**عملیات فرم دادن**
ایجاد کننده‌های دستی شکاف، میله‌های خم کننده، ابزار دار کردن، ابزار یا ماشین خم کننده ـ Press brake محور گردنده ماشین با روکوب ـ چین دهنده ـ با سیم محصور کننده (مفتول کننده) ـ سنگ چاقو تیز کنی یا برآمدگی ایجاد کننده ـ رلهای گردان	ایجاد شکلهای گوشه‌دار، استوانه‌ای، شکلهای مخروطی ایجاد شکلهای دایره‌ای	خمکاری پیچ زدن
ابزار مورد استفاده	**هدف**	**عملیات بستن**
میخ پرچ‌کن ـ وسیلهٔ پیچاندن ورق فلزی ـ پیچها (میخ‌پرچ‌کن ـ شیار ایجاد کن دستی ـ میخهای چوبی فرم‌دهی ـ مس لحیم‌کن ـ مشعل ـ اسلحه (توپ و تفنگ) کوره، نوعی چراغ گاز کوچک که گاز با فشار از روزنه‌ای وارد شده و هوا هم از روزنهٔ دیگر وارد می‌شود و گاز با حرارت زیاد و شعله آبی می‌سوزد. چسب اتصال ـ چسب اپوکسی ـ گیره	*تولید با ایجاد یک اتصال پایدار و ثابت *تولید با ایجاد یک اتصال نیمه پایدار *ایجاد و ساخت اتصال مکانیکی پایدار و ثابت، مانند شیاردار کردن، خم‌کردن یا دو طرفه شیاردار کردن ایجاد یک اتصال ثابت نفوذناپذیر در مقابل آب ـ ایجاد یک اتصال	میخ پرچ‌کن یا پرچ کردن بند کشیدن لحیم‌کاری نرم چسباندن ـ دوختن

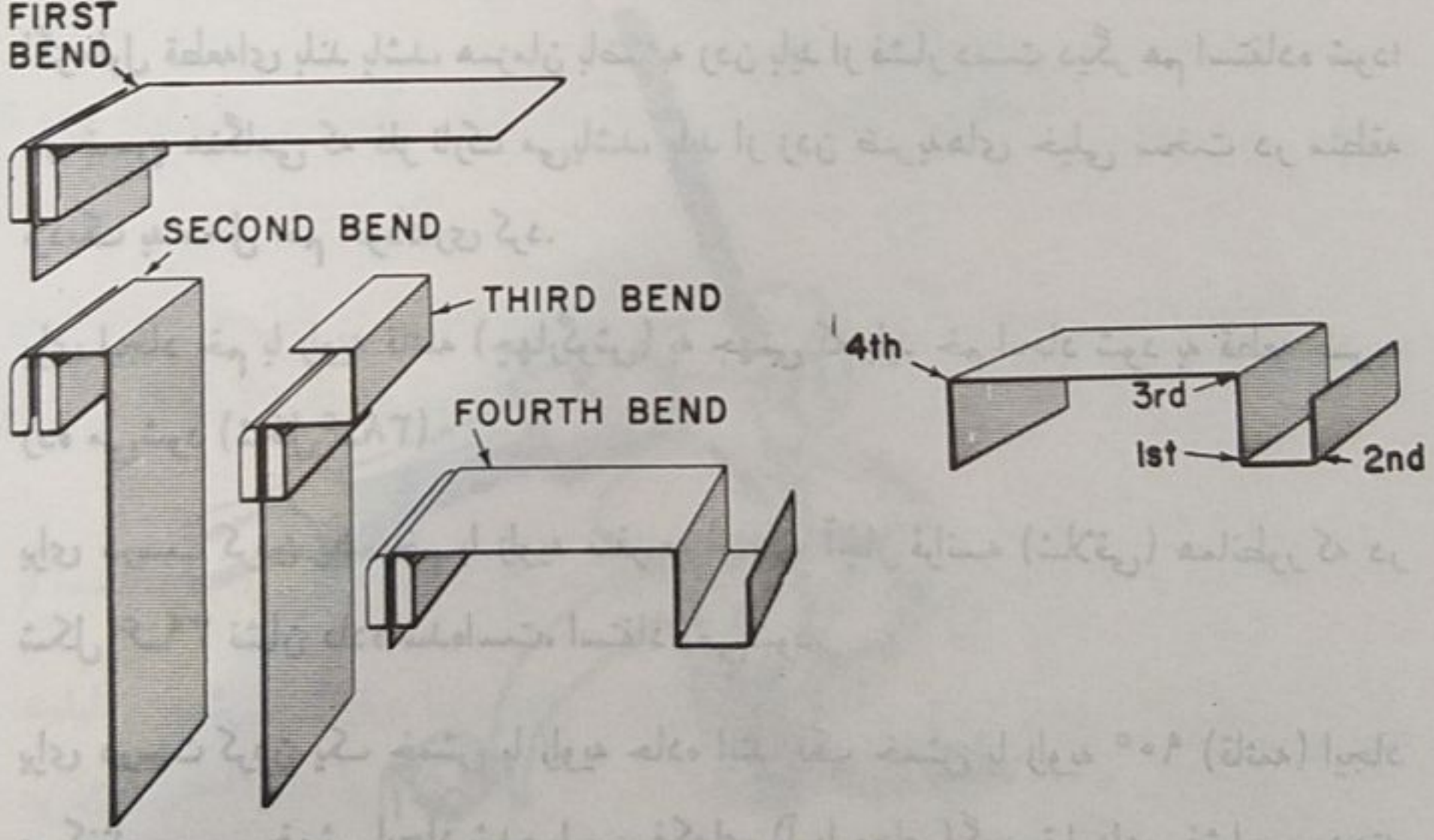
۶-۱۰-۱ روشهای خمکاری با دست

ورقه‌های فلزی، میله‌ها، شمشها و مفتولها به آسانی خم می‌شوند. بیشتر فلزات با قطر ۱۴ اینچ (۶ میلیمتر) یا کمتر را می‌توان در حالت سرد خم کرد. بیشترین خمهای زاویه‌دار عمومی (مشترک) در زاویه‌های راست یا ۹۰°است. بعضی اوقات لازم است تحت زوایای دیگری عمل خم کردن انجام شود که این زاویه‌هامنفرجه و یا حاده هستند.

الفـ ایجاد خمهای زاویه‌دار

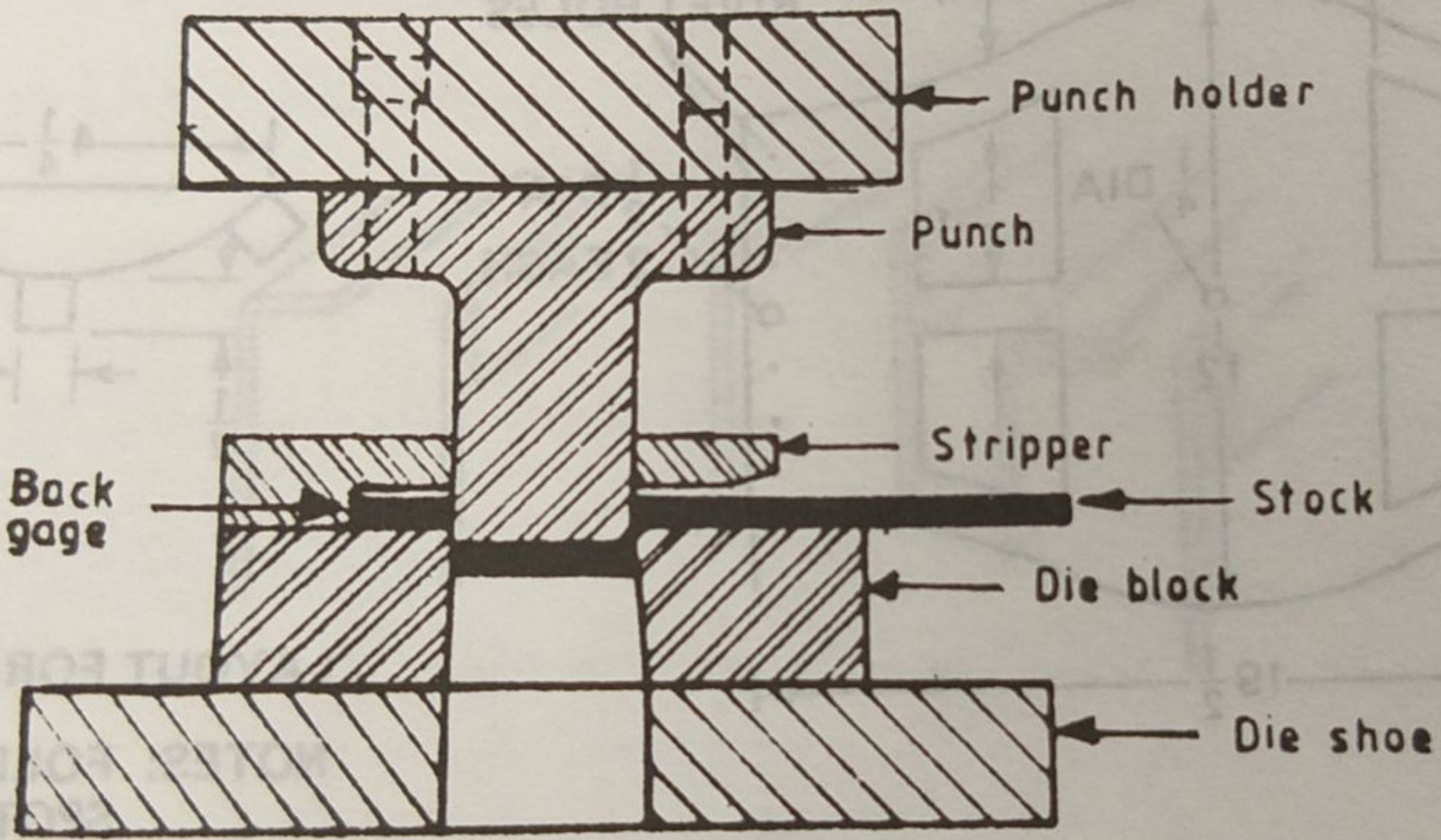
۱) طرحی از آن قسمتی که باید خم شود در اندازه بزرگ تهیه می‌شود. قسمتی از مفتول را به شکل مورد نیاز خم می‌کنند. در خمش زاویه‌های ۹۰° (راست) به اندازه نصف ضخامت فلزات برای هر خمش اضافه می‌کنند؛برای مثال، اگر شما فلزی با ضخامت ۱۴ اینچ (۶میلیمتر) به کار می‌برید و باید دو خم با زاویه $90°C$درست کنید، ۱۴ اینچ (۶میلیمتر) به طول جسم به کار برده شده، اضافه کنید.

۲) اگر قطعه‌ای بیشتر ازیک خمش داشته باشد، اولین خمش را ایجاد می‌کنند (شکل۶ـ۳۶).

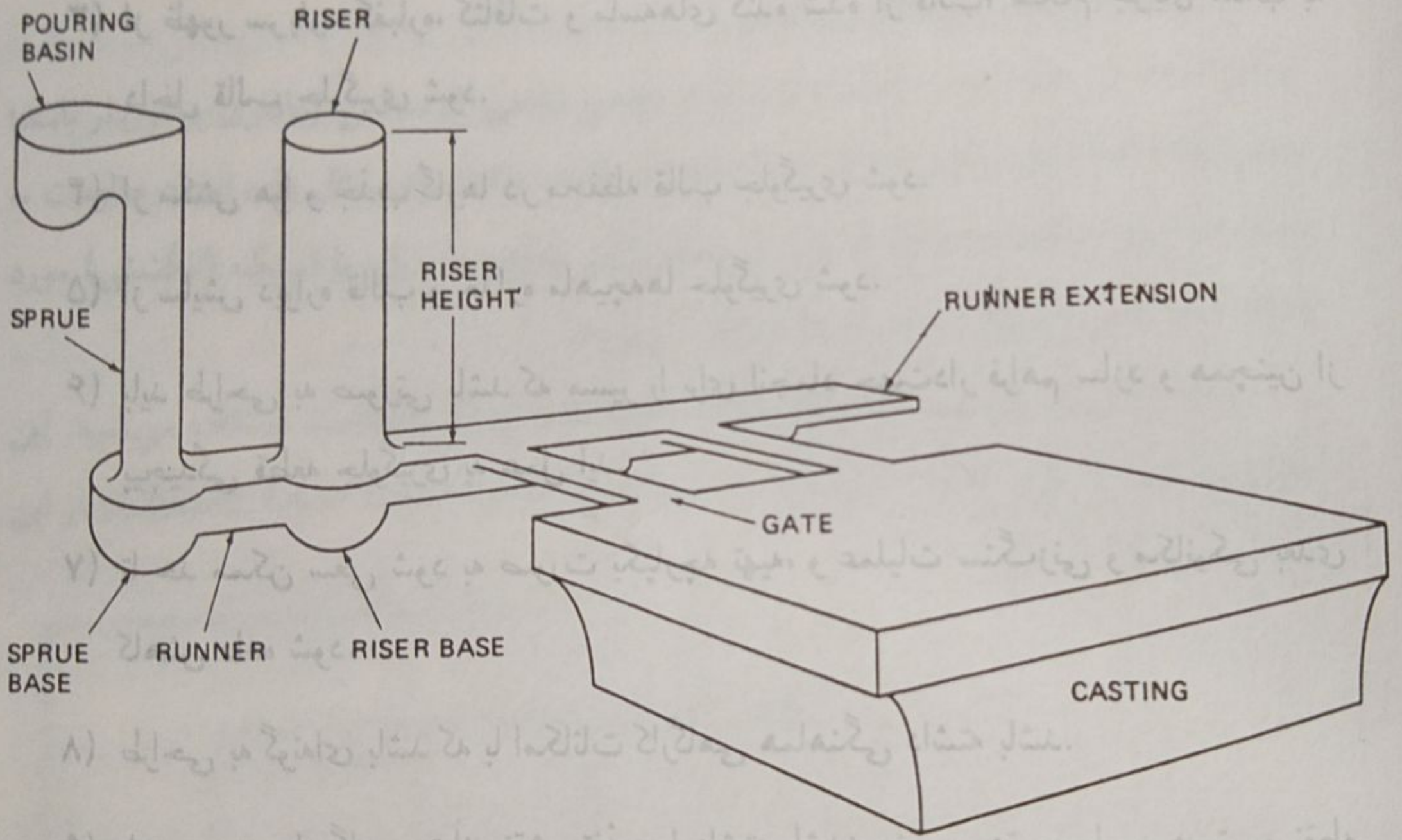


شکل۶-۳۶: ترتیب ایجاد خمها

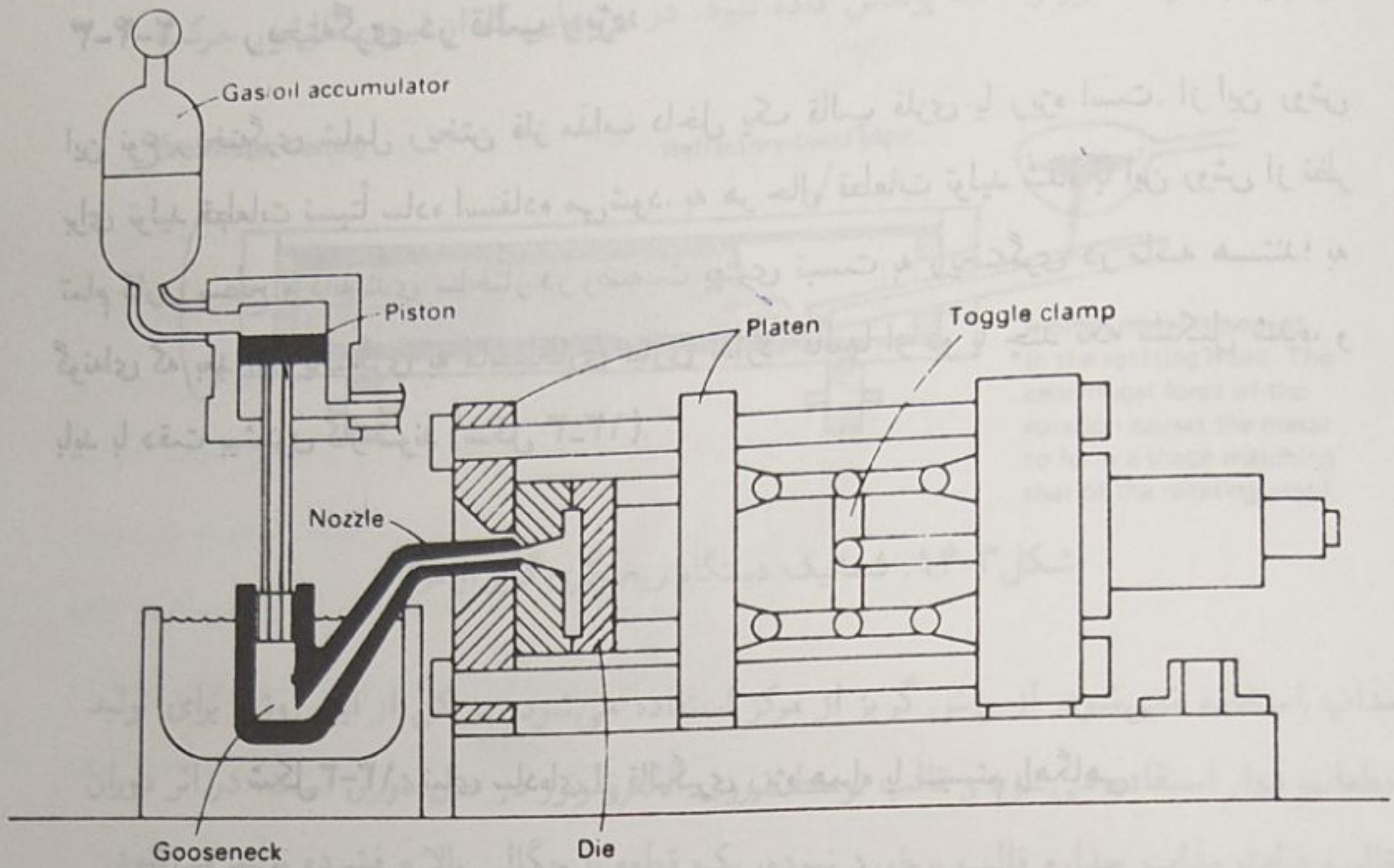
۳) فلز را بطور عمودی در گیره ببندید؛ به گونه‌ای که خط خمش در دهانه گیره و در قسمت بالای آن بسته شده باشد. در این حالت قسمت اضافی (قسمت بیشتر ماده) در بالای فک



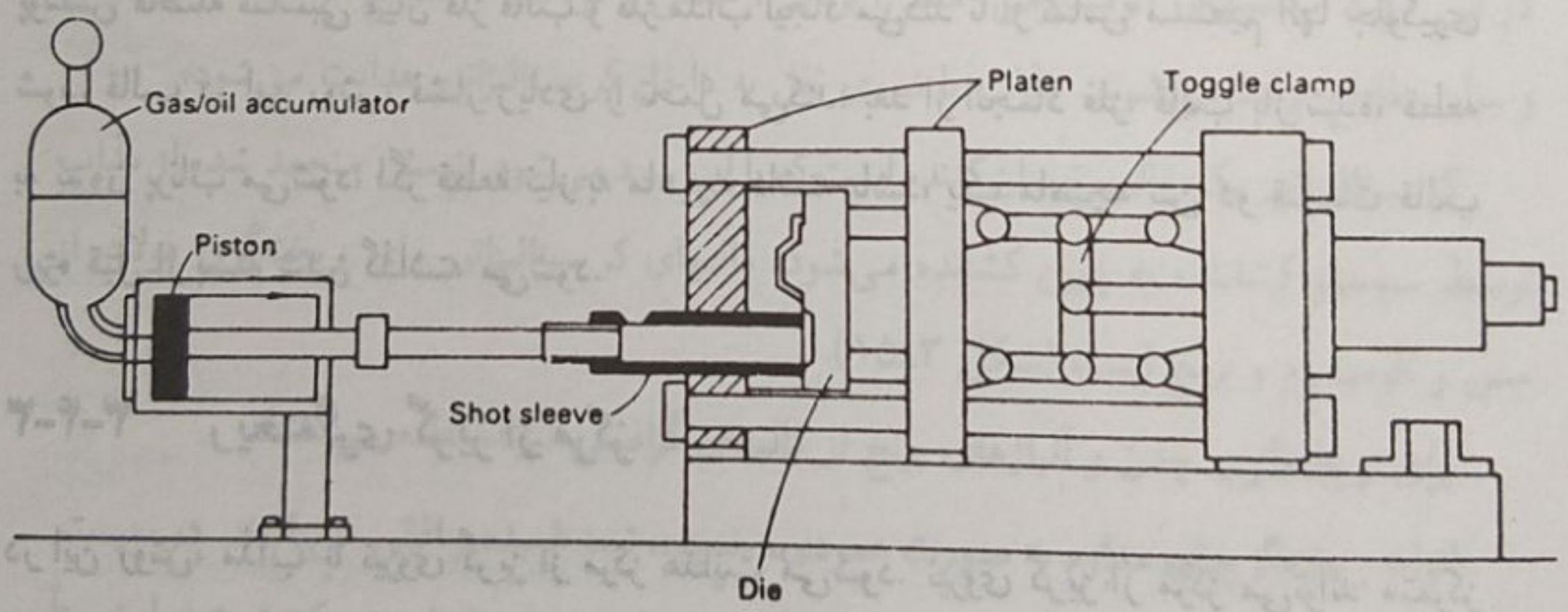
شکل۶-۷۹: شماتیک برش ساده



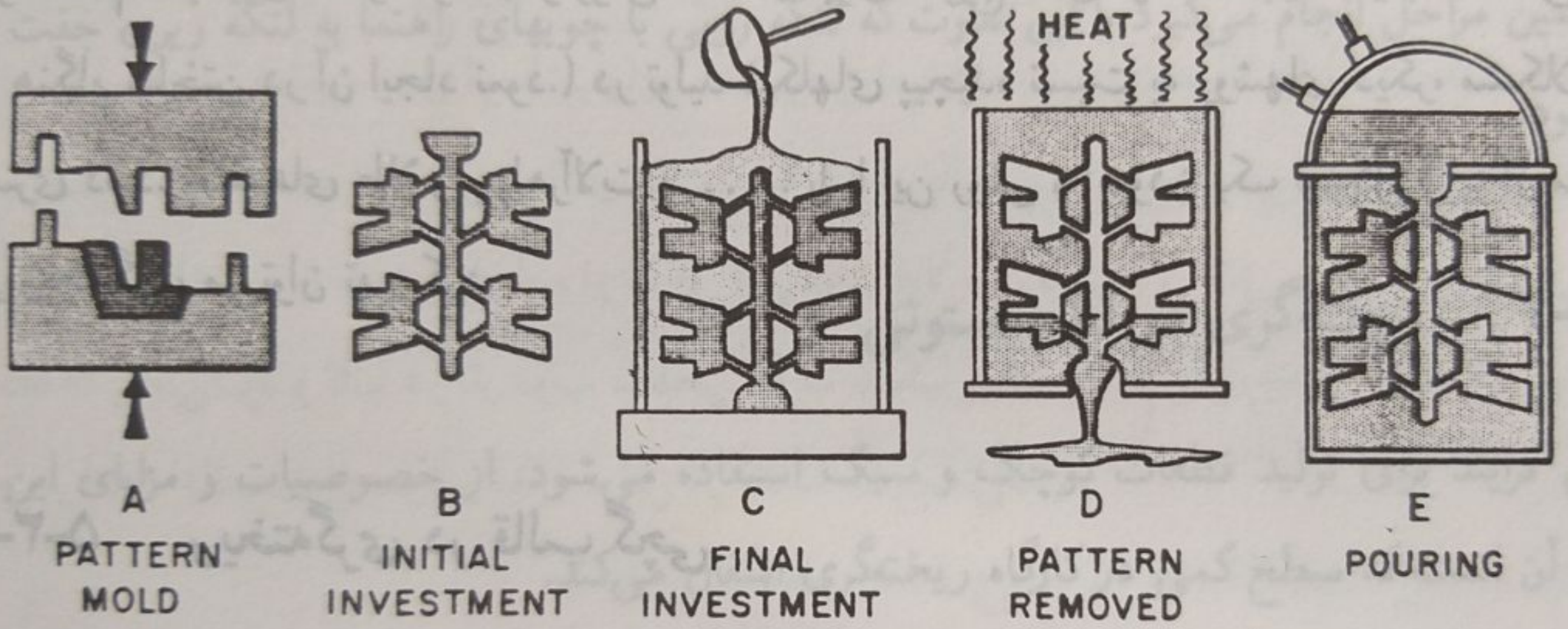
شکل۳-۶: شماتیک سیستم راهگاهی همراه نامگذاری مناطق مختلف آن



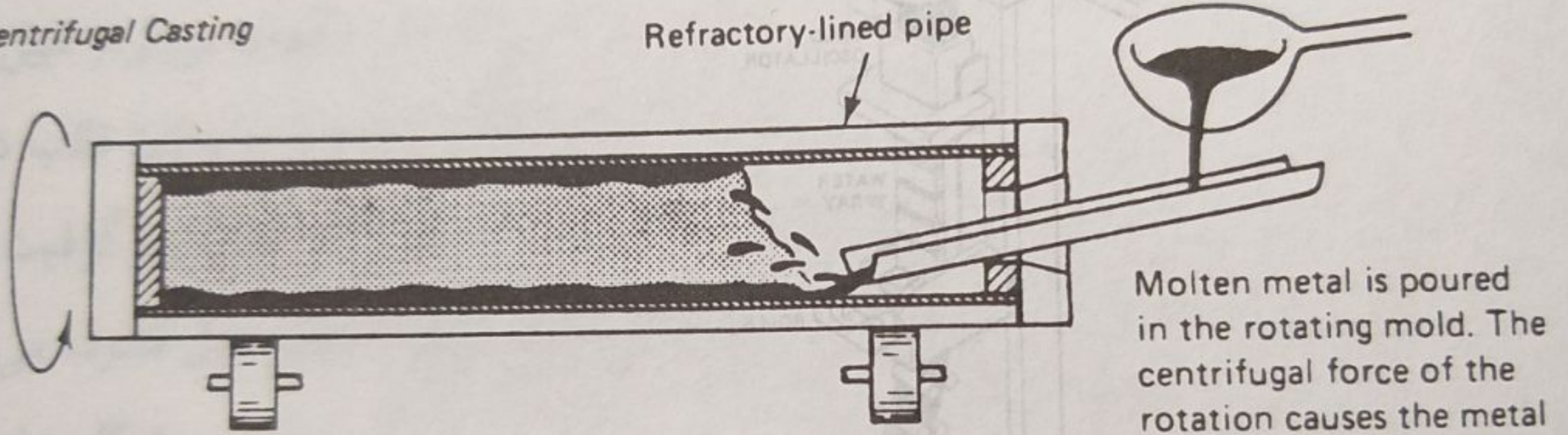
شکل۳-۱۱: دستگاه ریخته‌گری تحت فشار با محفظه گرم



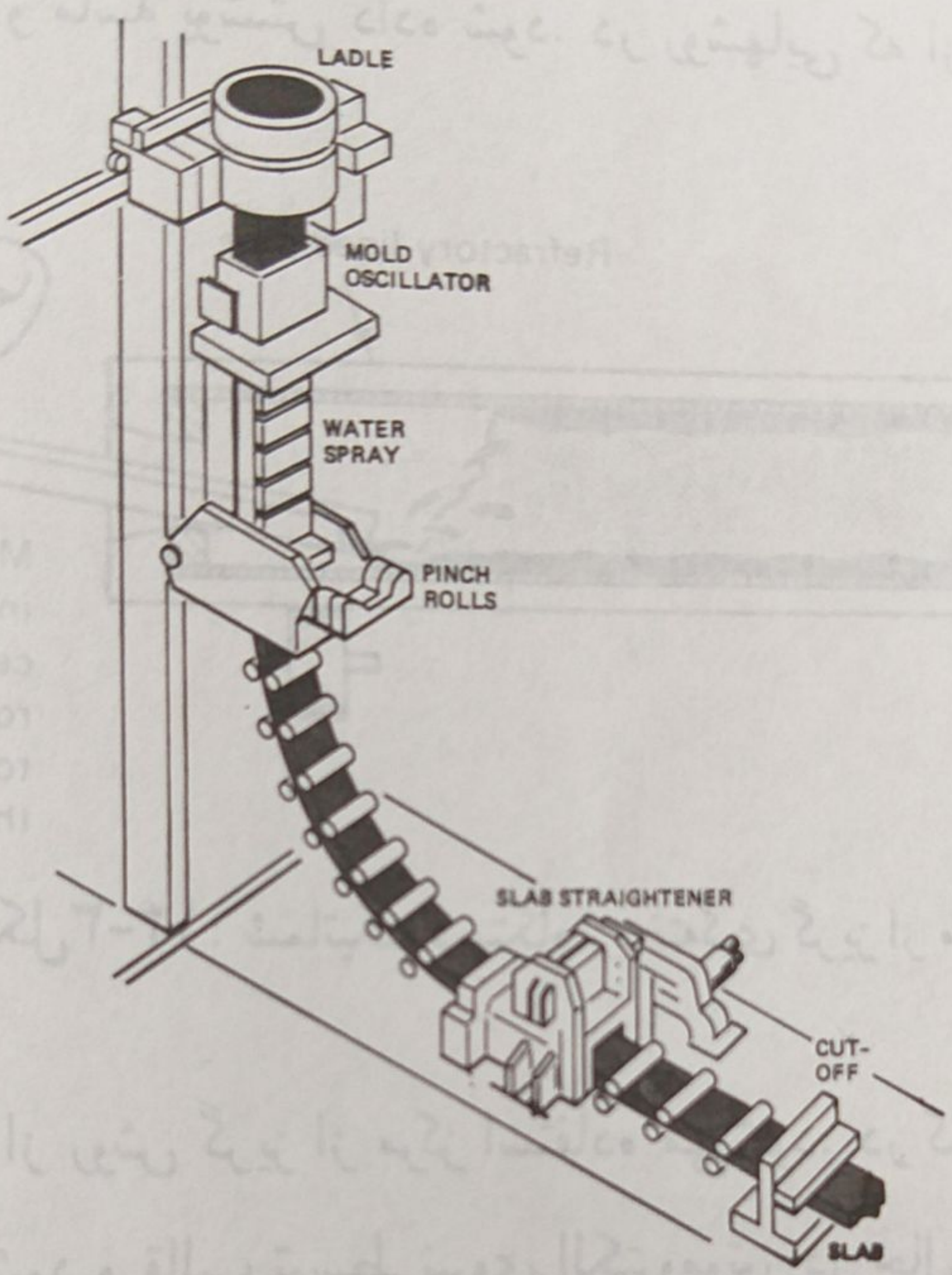
شکل۳-۱۲: دستگاه ریخته‌گری تحت فشار با محفظه سرد



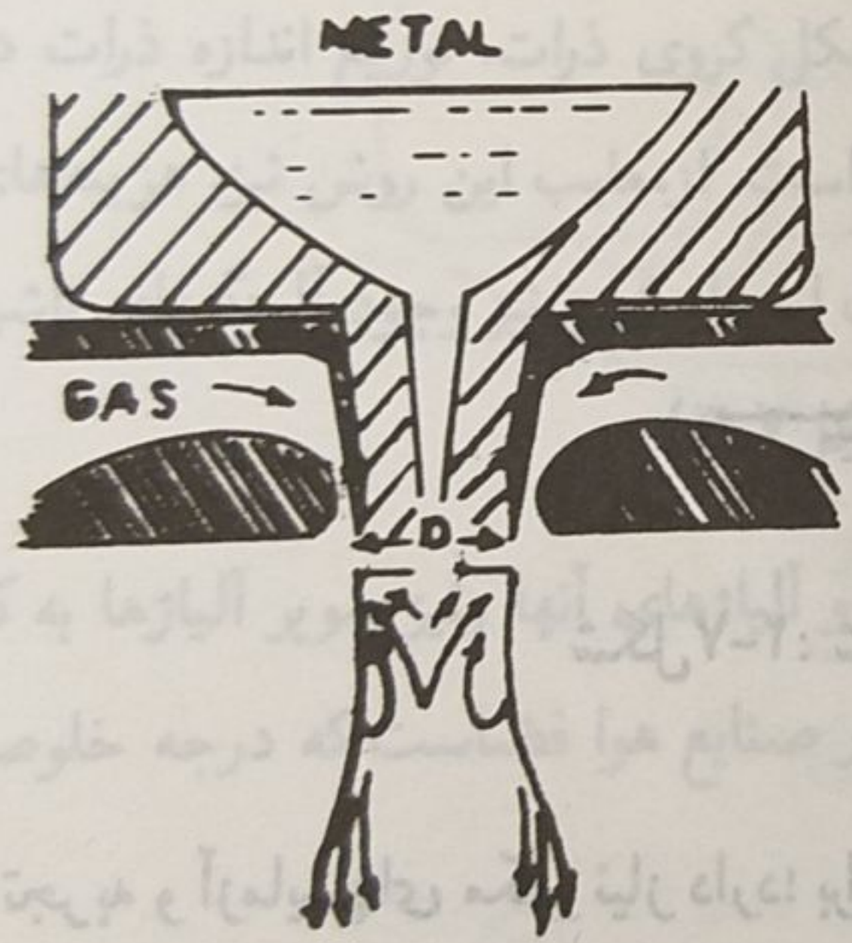
شکل۳-۹: مراحل مختلف قالبگیری دقیق



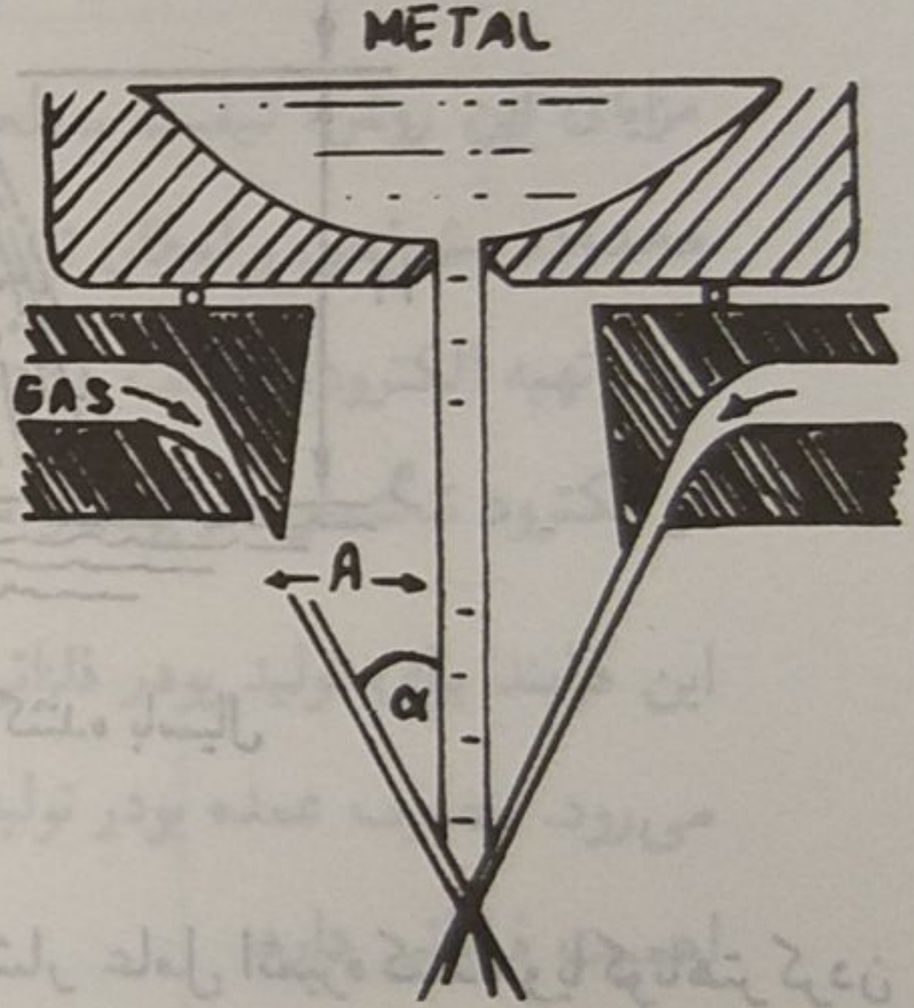
شکل۳-۱۴: شماتیک دستگاه ریخته‌گری گریز از مرکز



شکل۳-۱۵: روش ریخته‌گری پیوسته

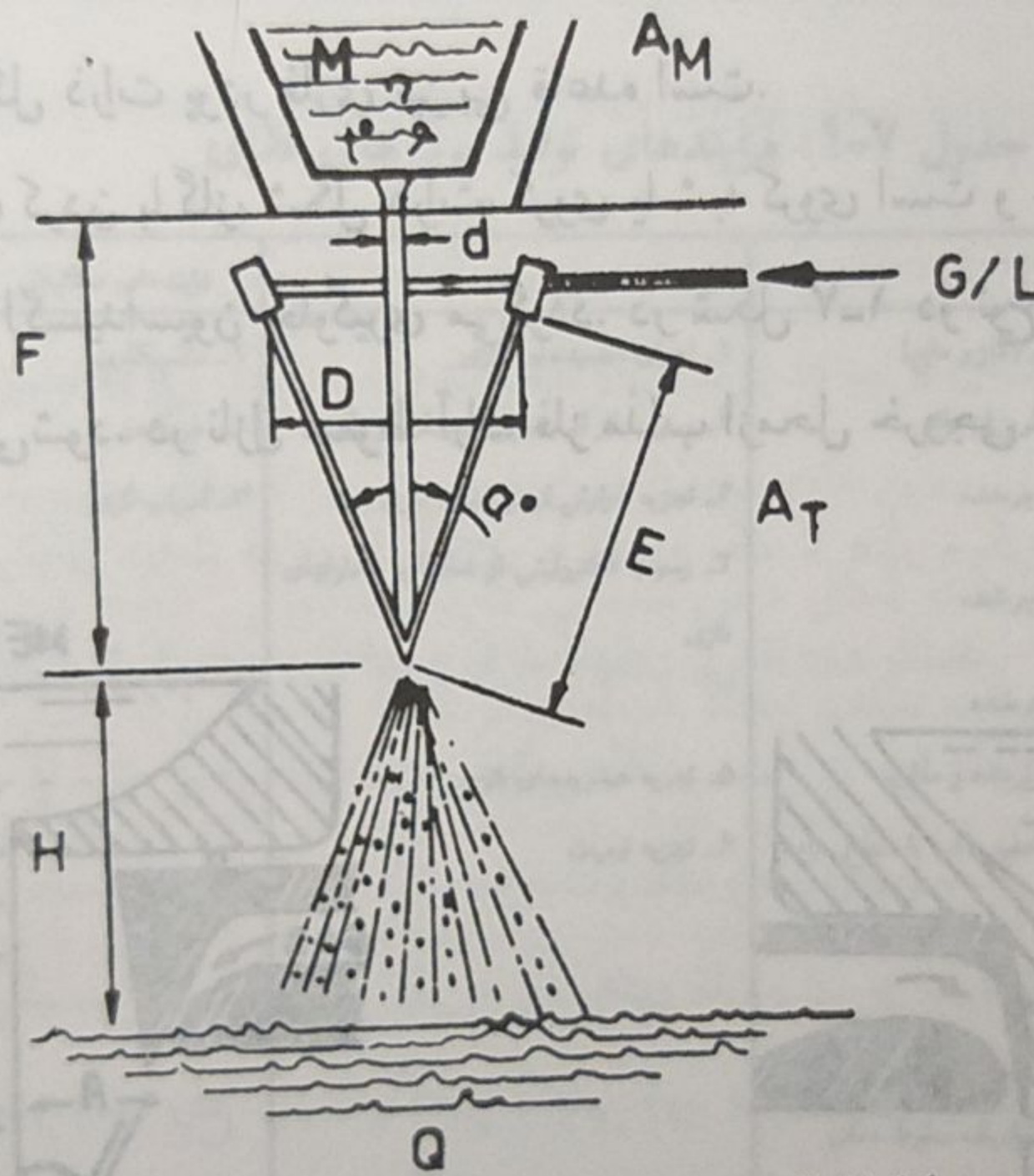


ب

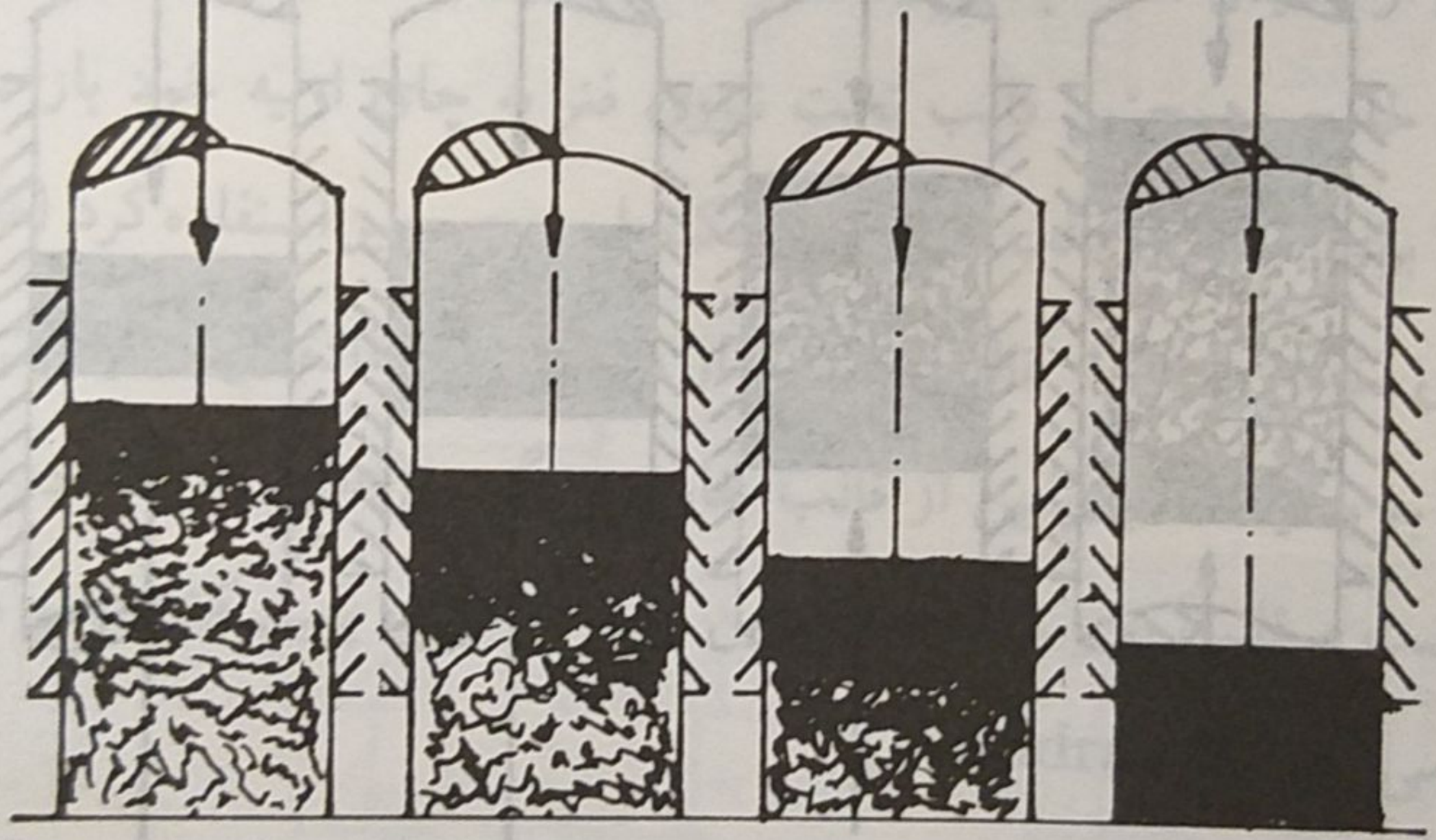


الف

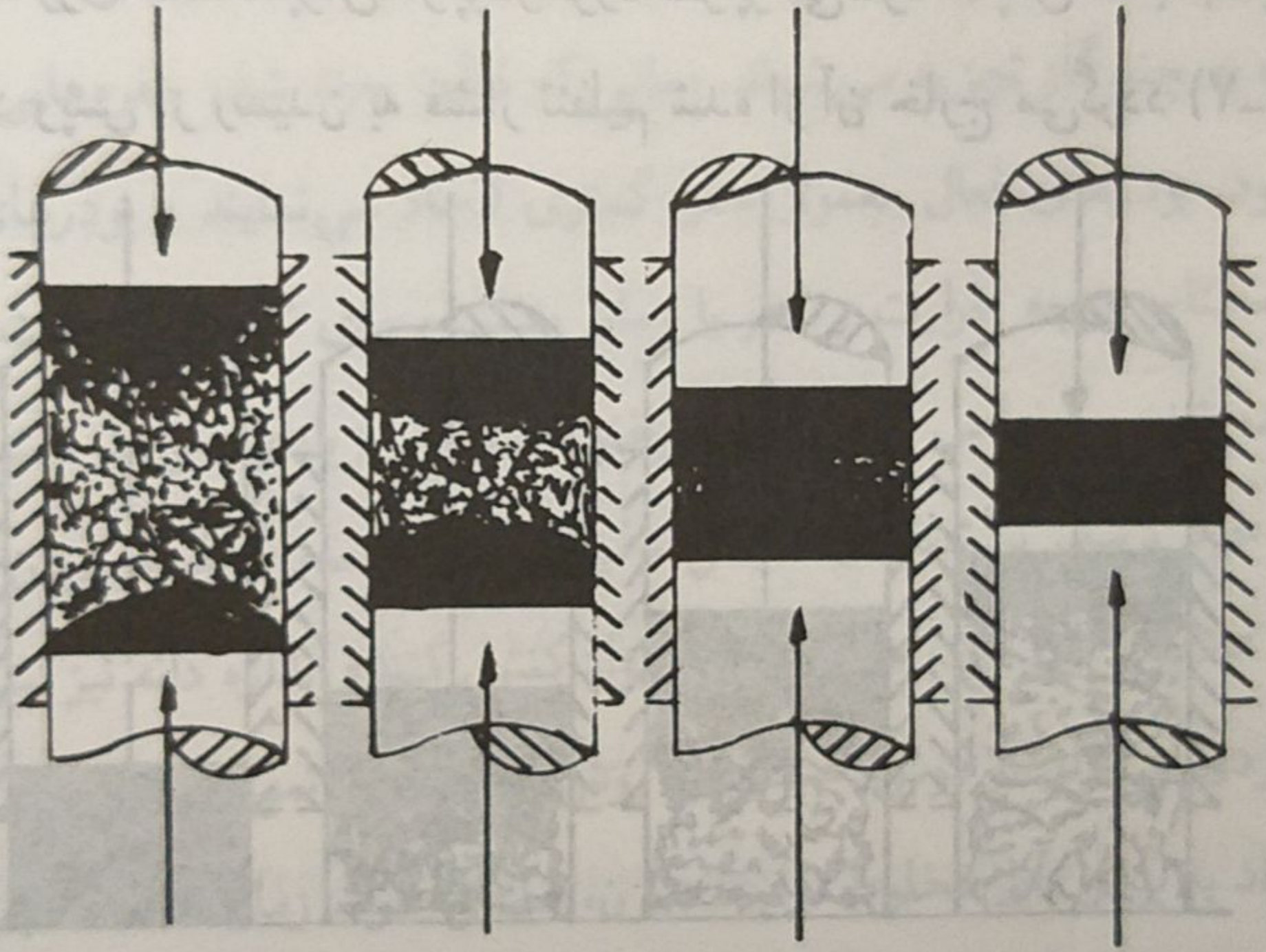
شکل۷-۱: الف- نازل سقوط آزاد ب- نازل محدود



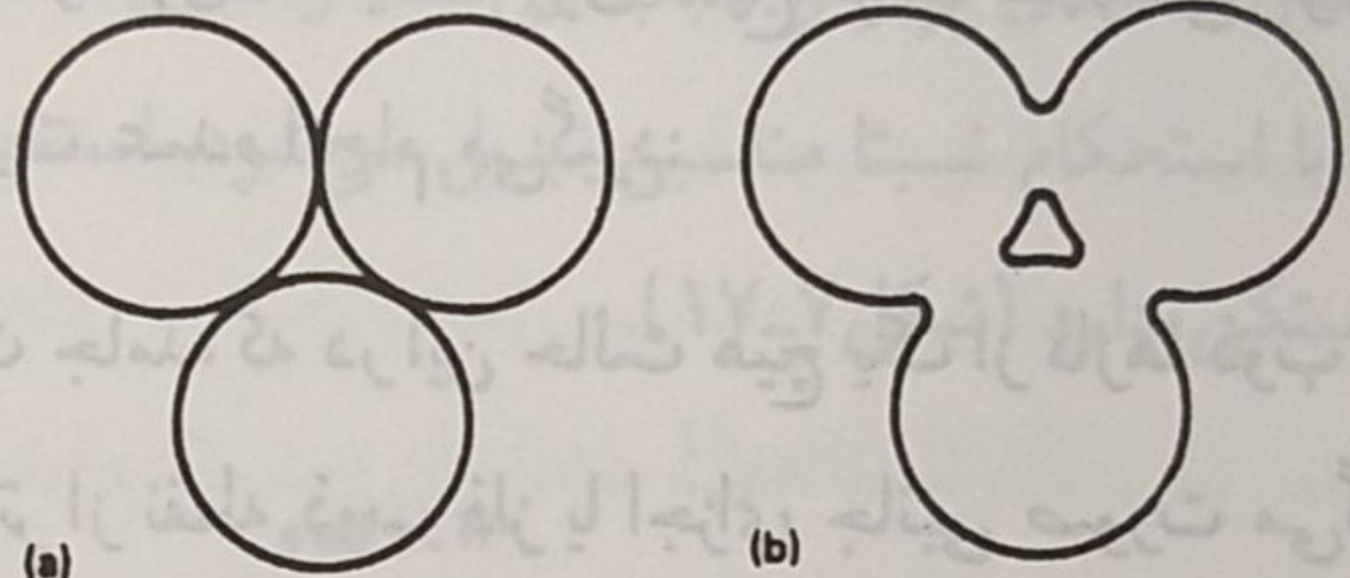
شکل۷-۲: شماتیک فرایند اتمیزه کننده باسیال



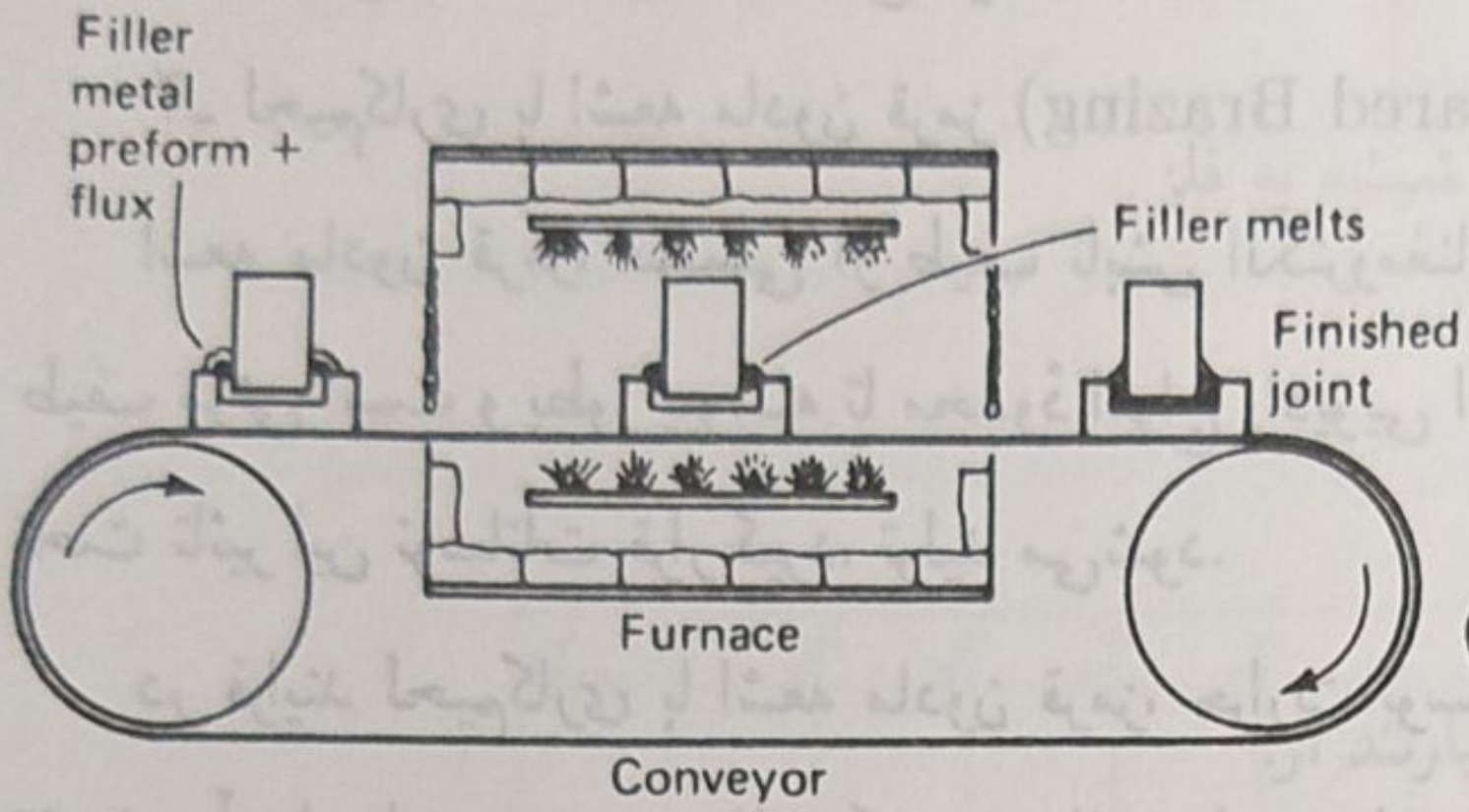
شکل۷-۱۲: شماتیک روش فشردن یکطرفه



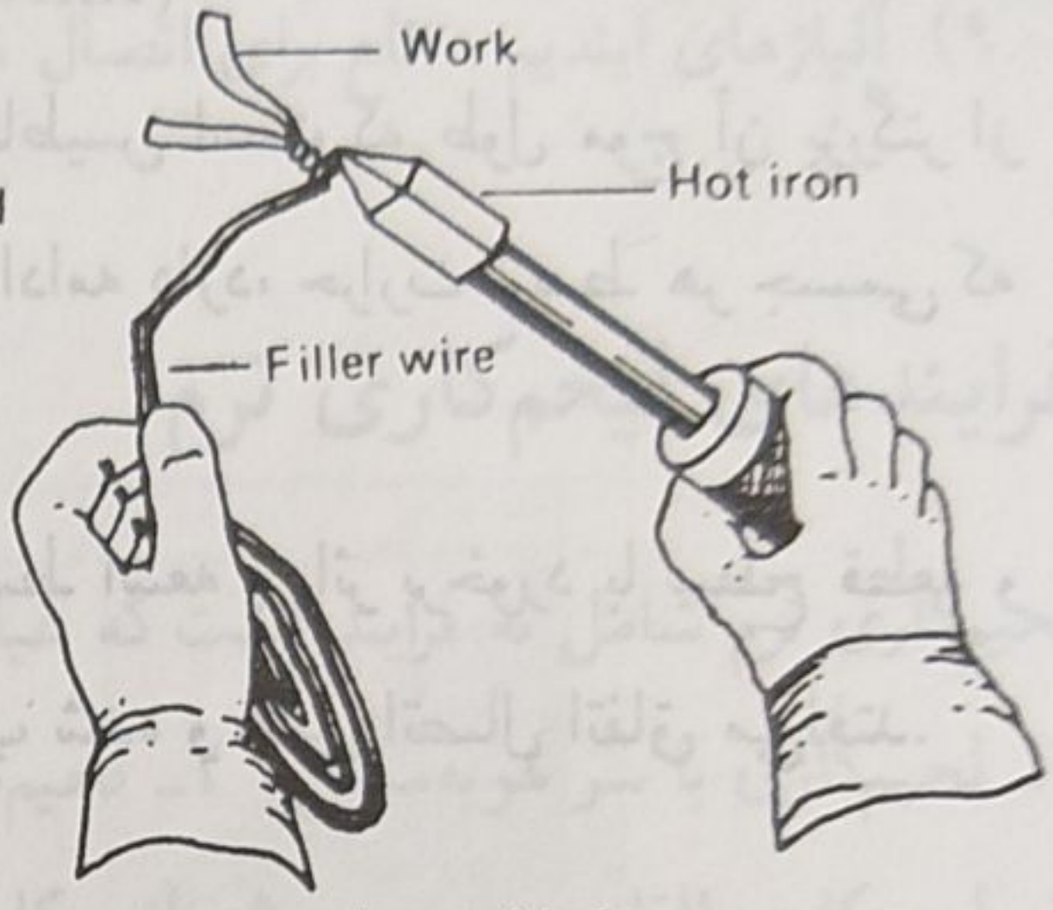
شکل۷-۱۳: شماتیک روش فشردن دو طرفه



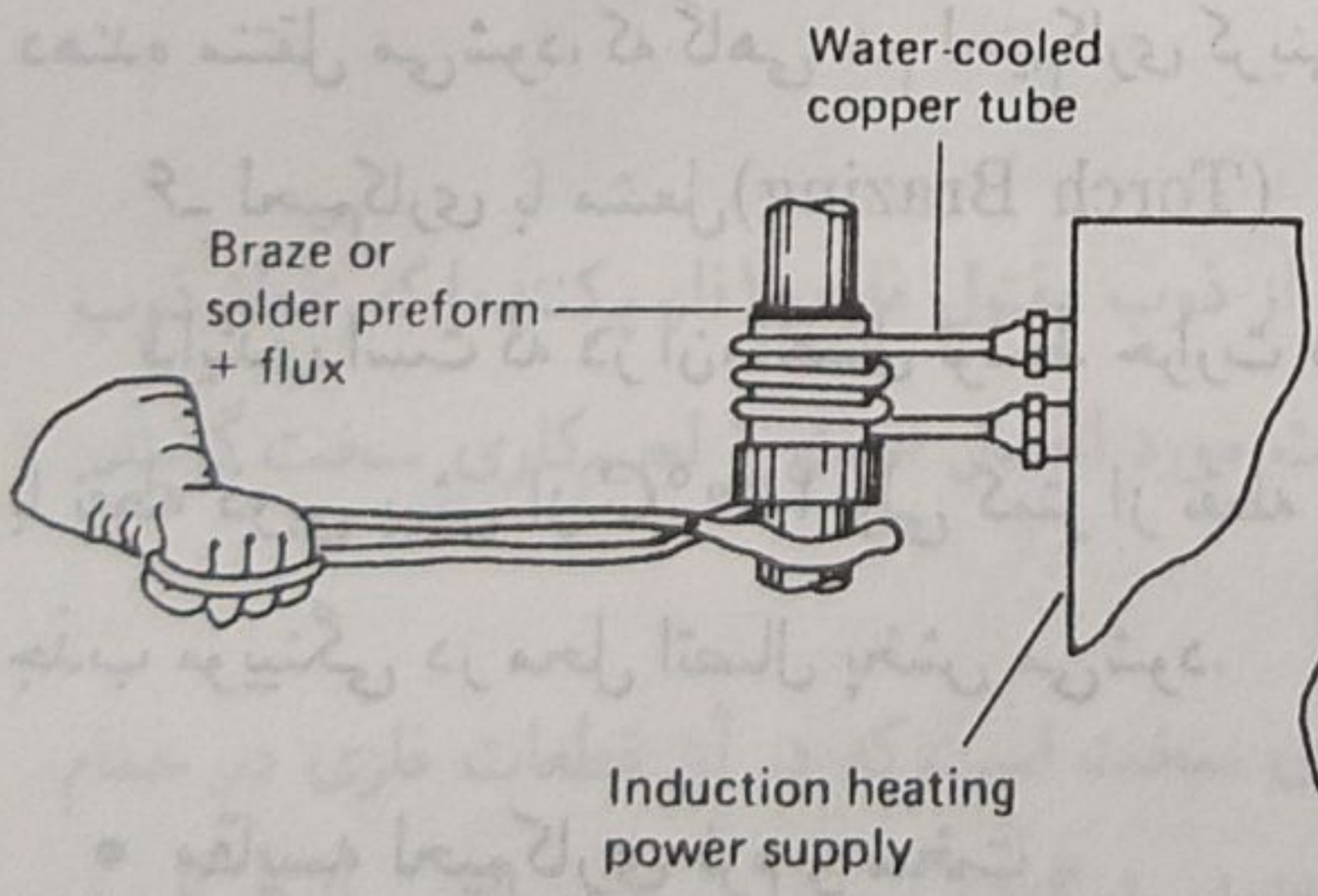
شکل۷-۱۸: مراحل تفجوشی ذرات پودر



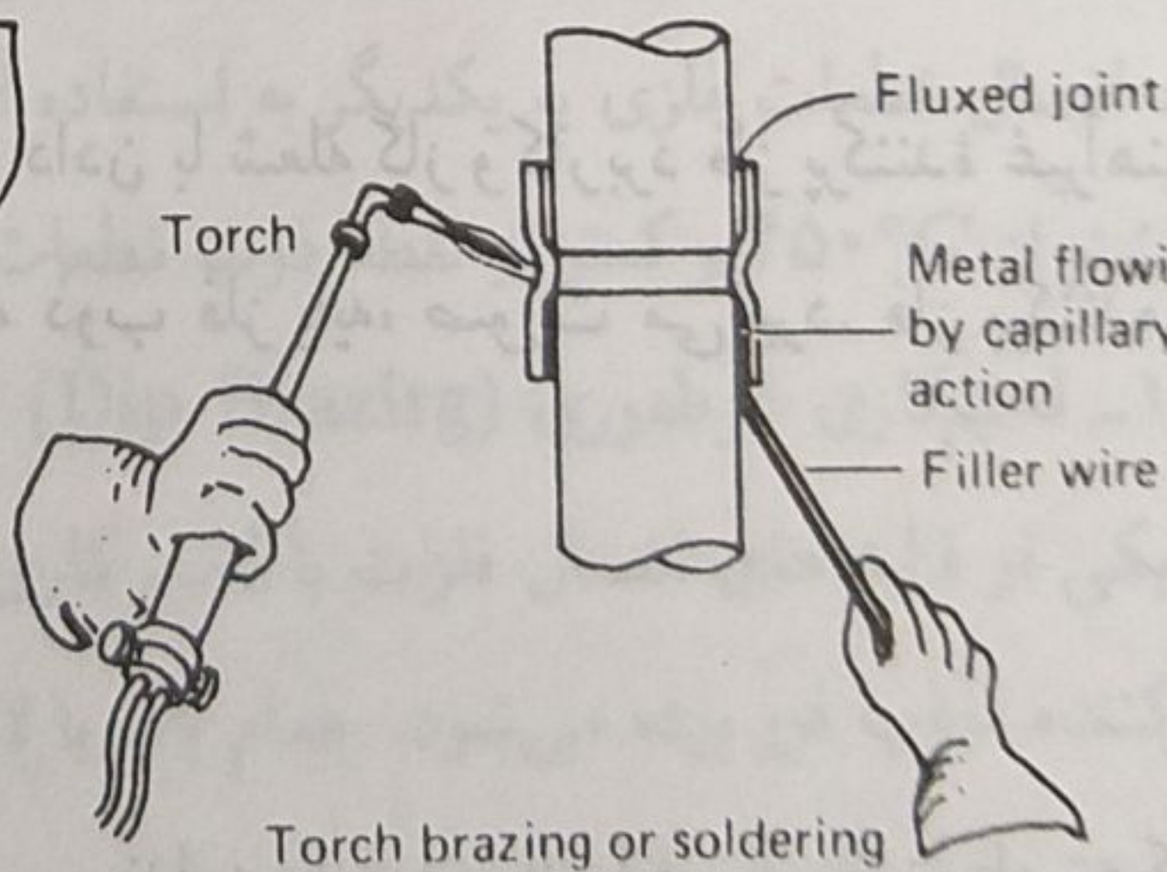
Furnace brazing or soldering
(FB) (FS)



Iron soldering
(INS)

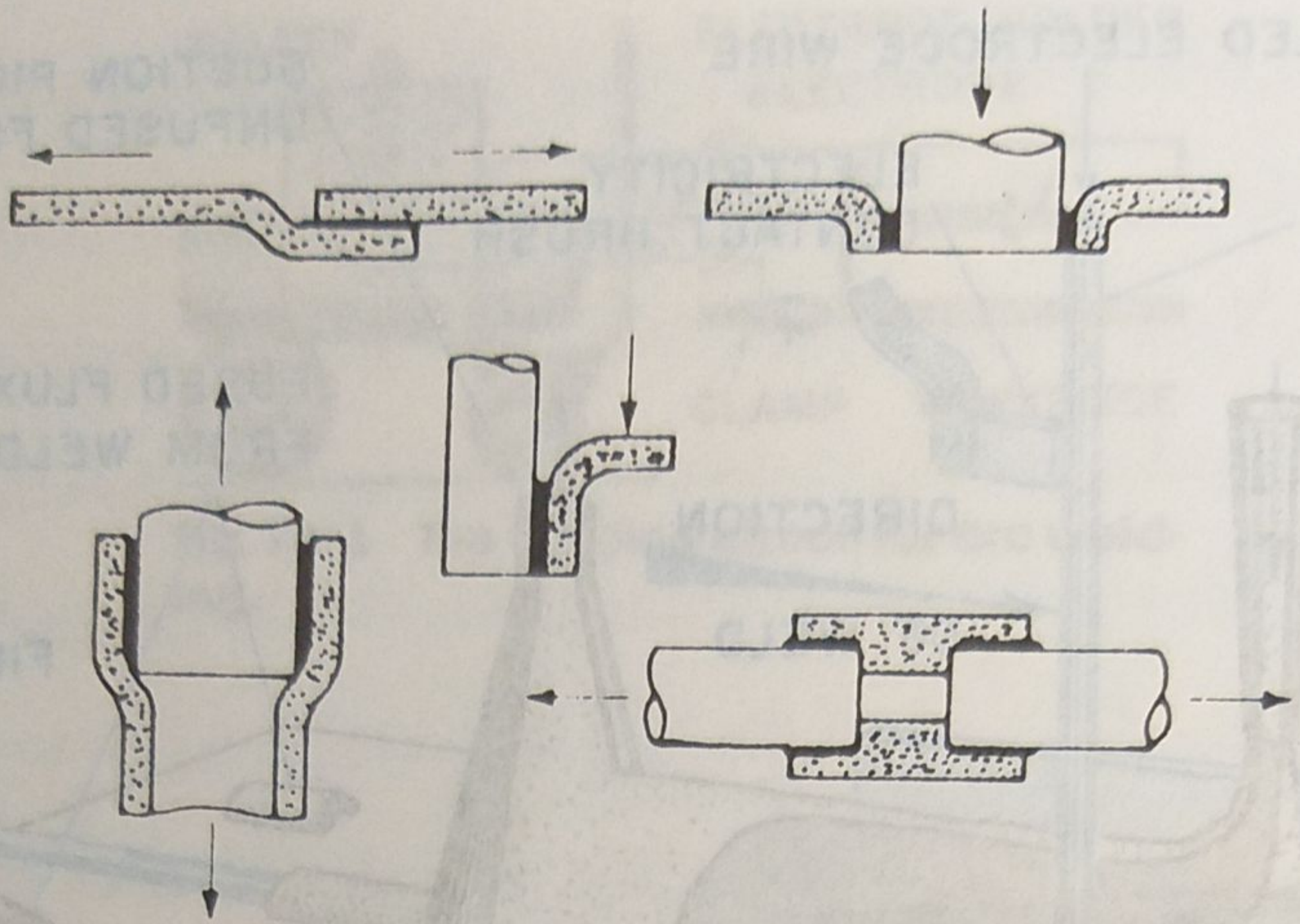


Induction brazing or soldering
(IB) (IS)



Torch brazing or soldering
(TB) (S)

شکل۴-۴: فرایندهای مختلف لحیم‌کاری نرم و سخت



شکل۴-۵: انواع اتصالات در لحیم‌کاری سخت

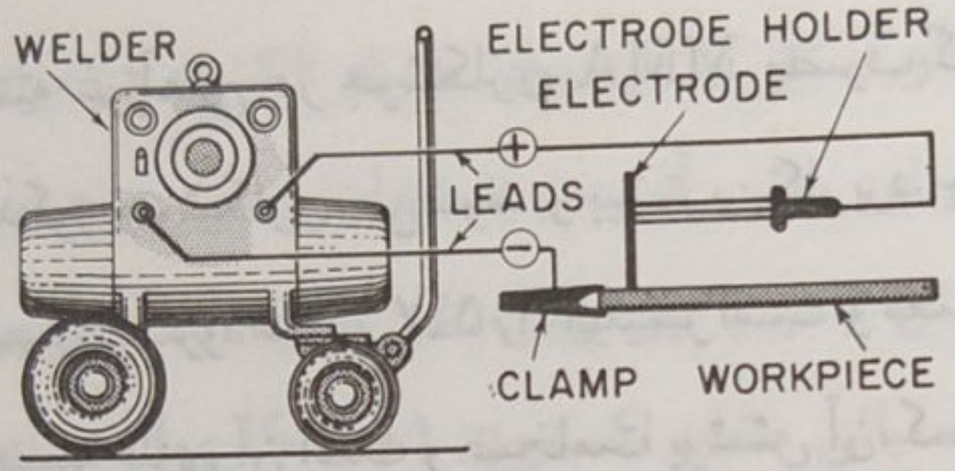
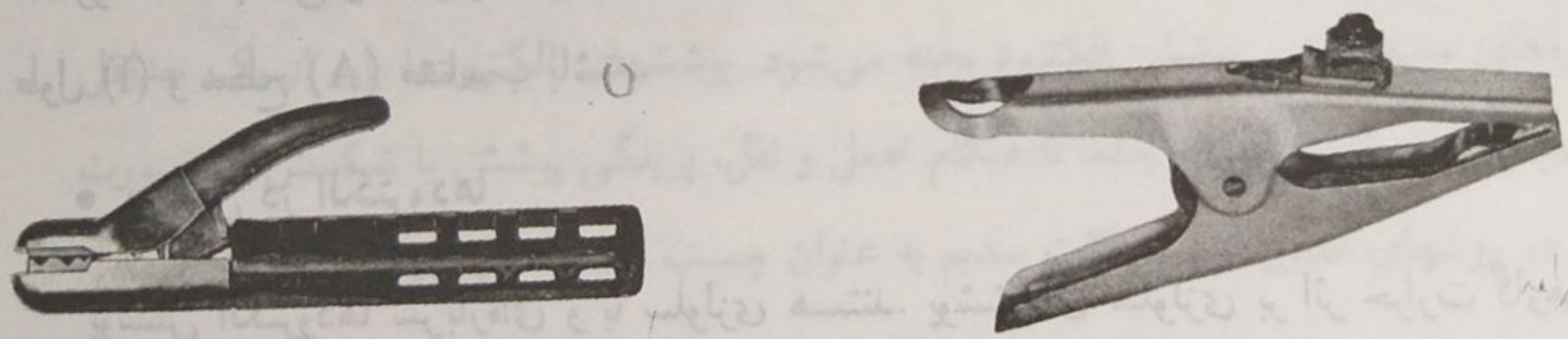
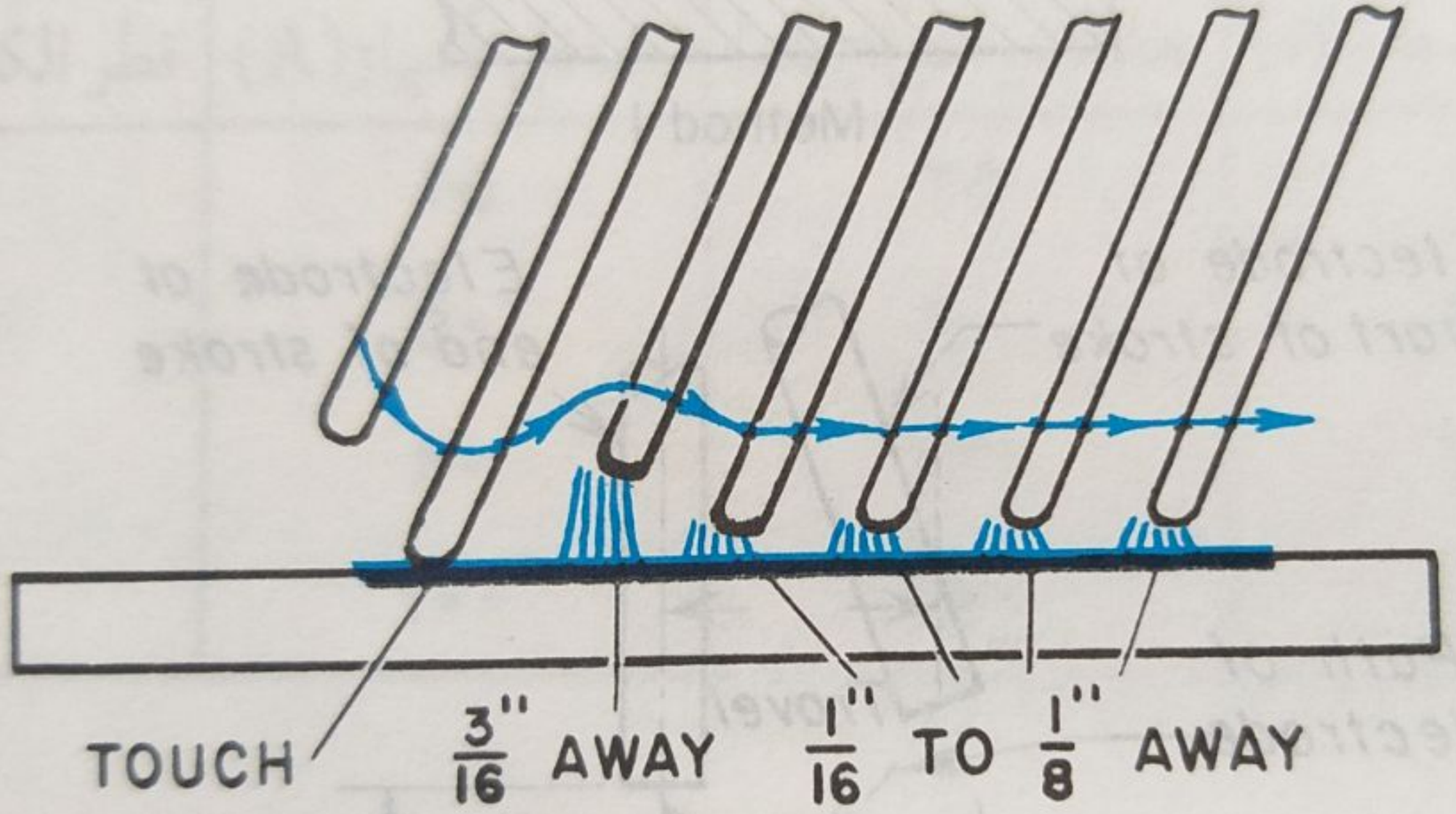


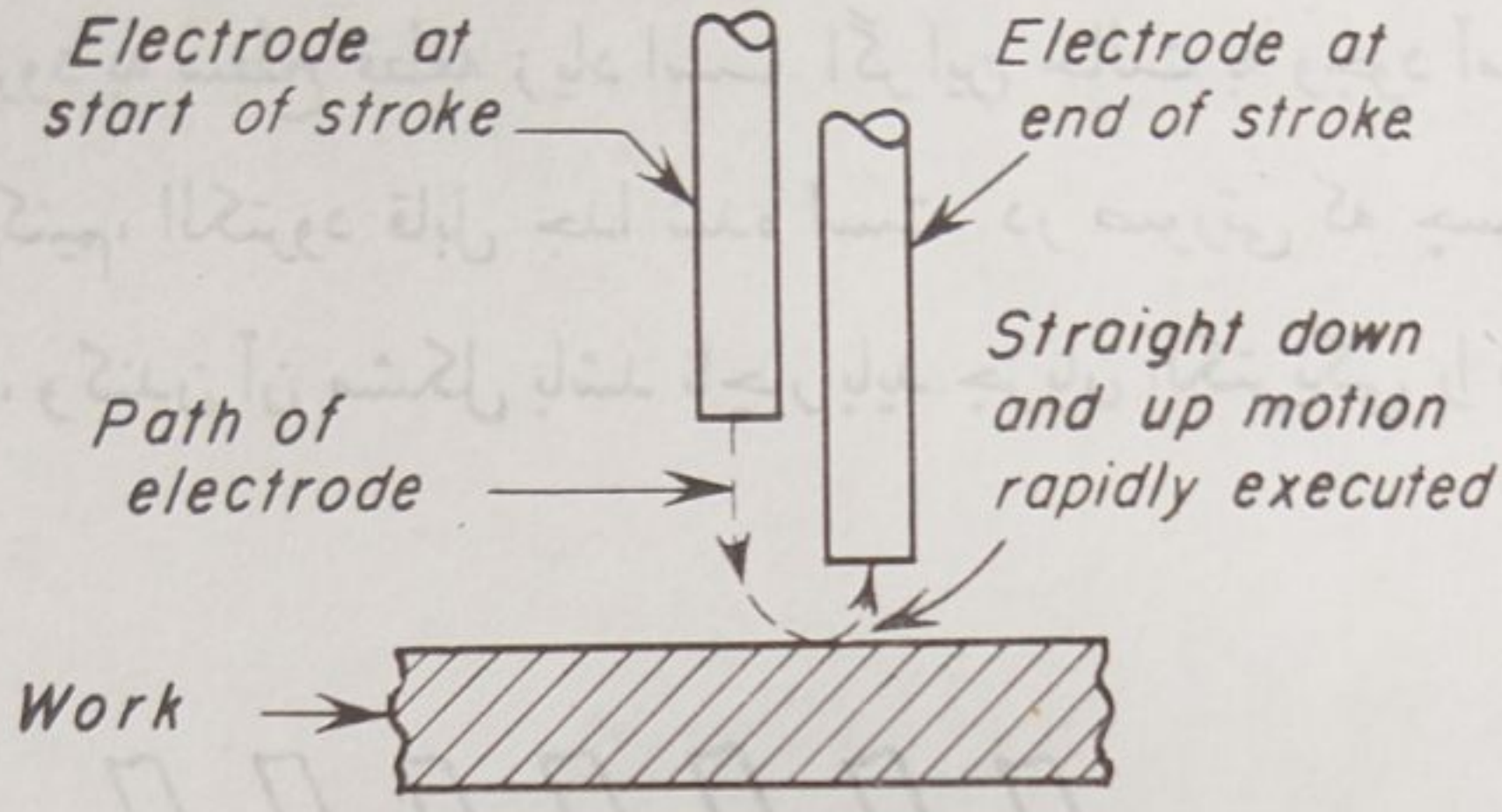
Fig. 74–3 The welding circuit for arc welding.



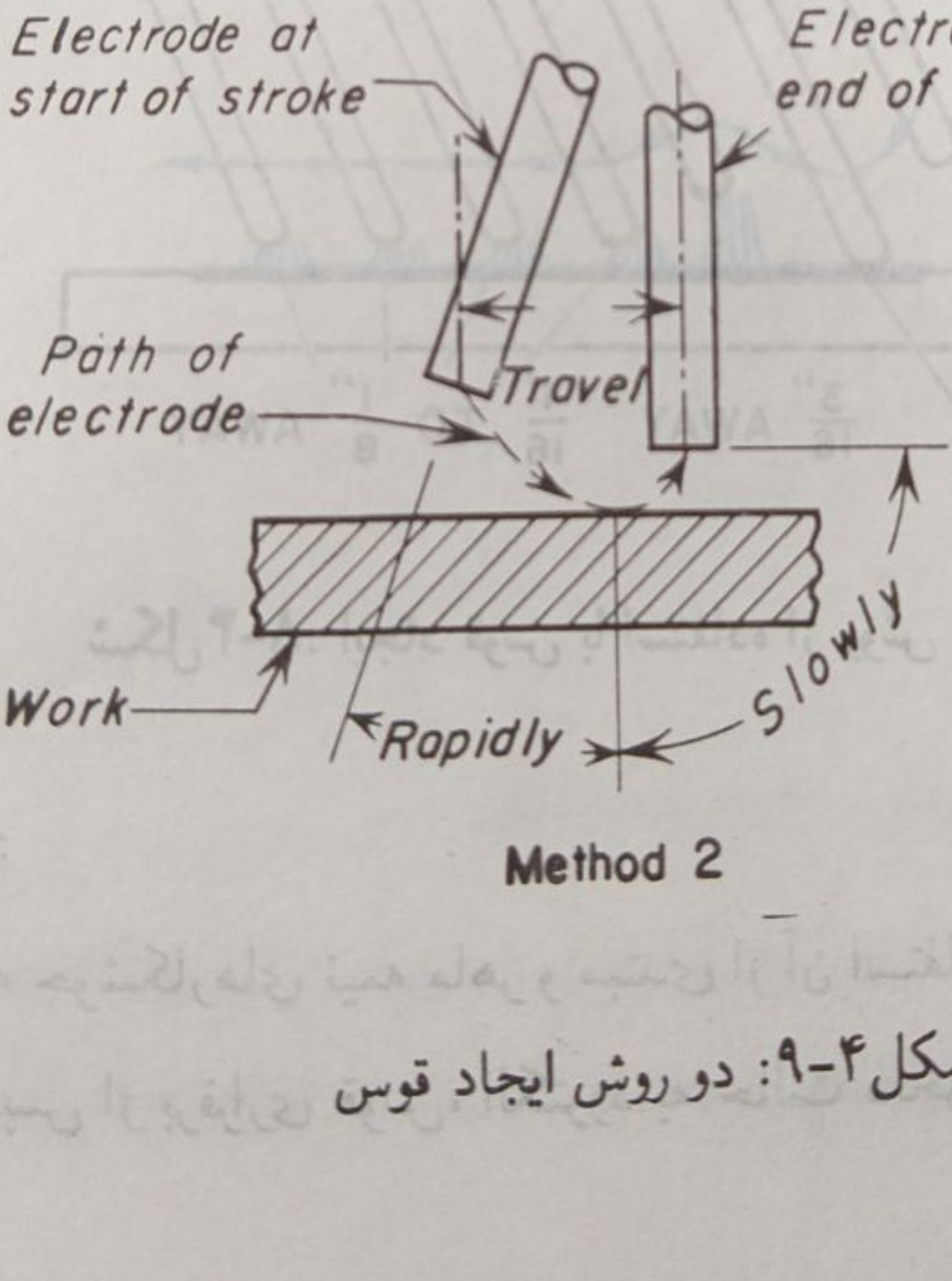
شکل۴-۷: برخی تجهیزات مورد استفاده در جوشکاری قوس با الکترود دستی



شکل۴-۸: ایجاد قوس با استفاده از روش ضربه زدن

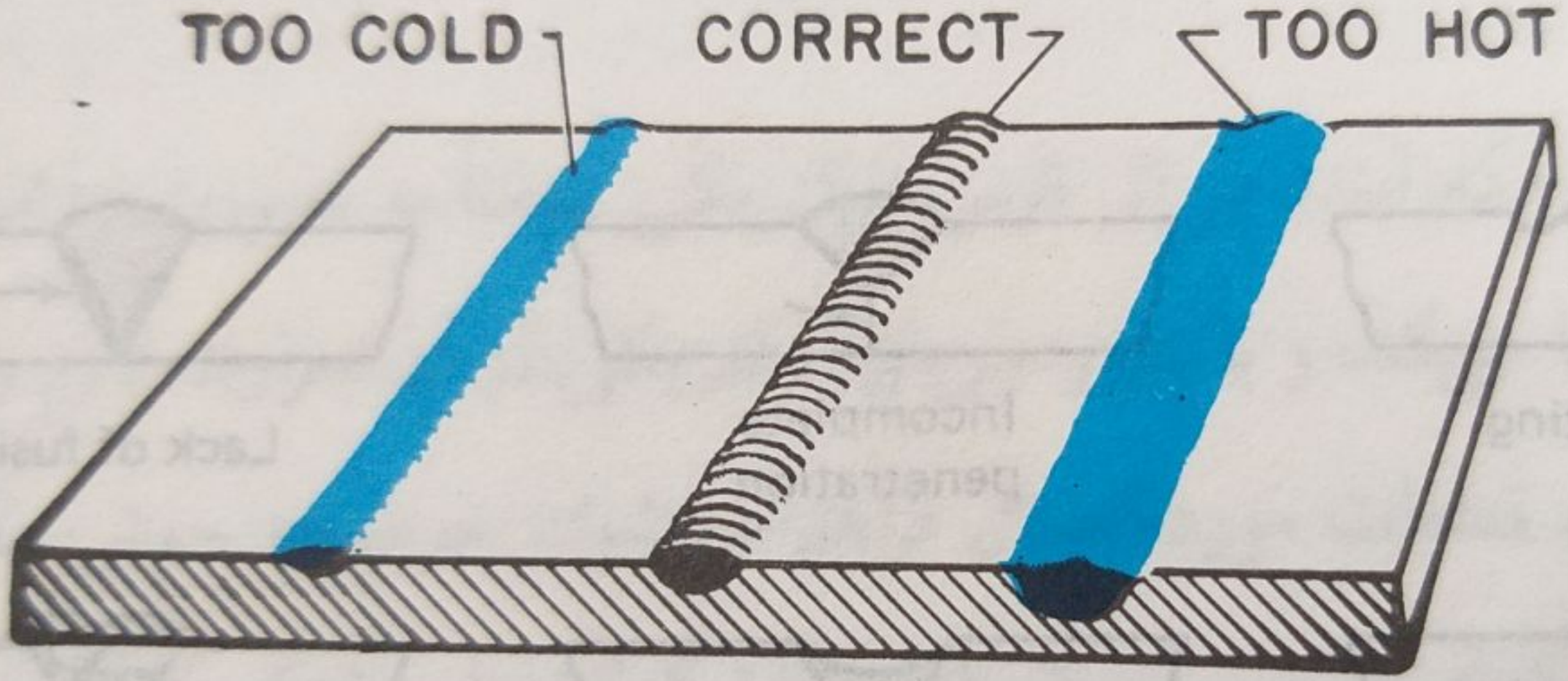


Method 1

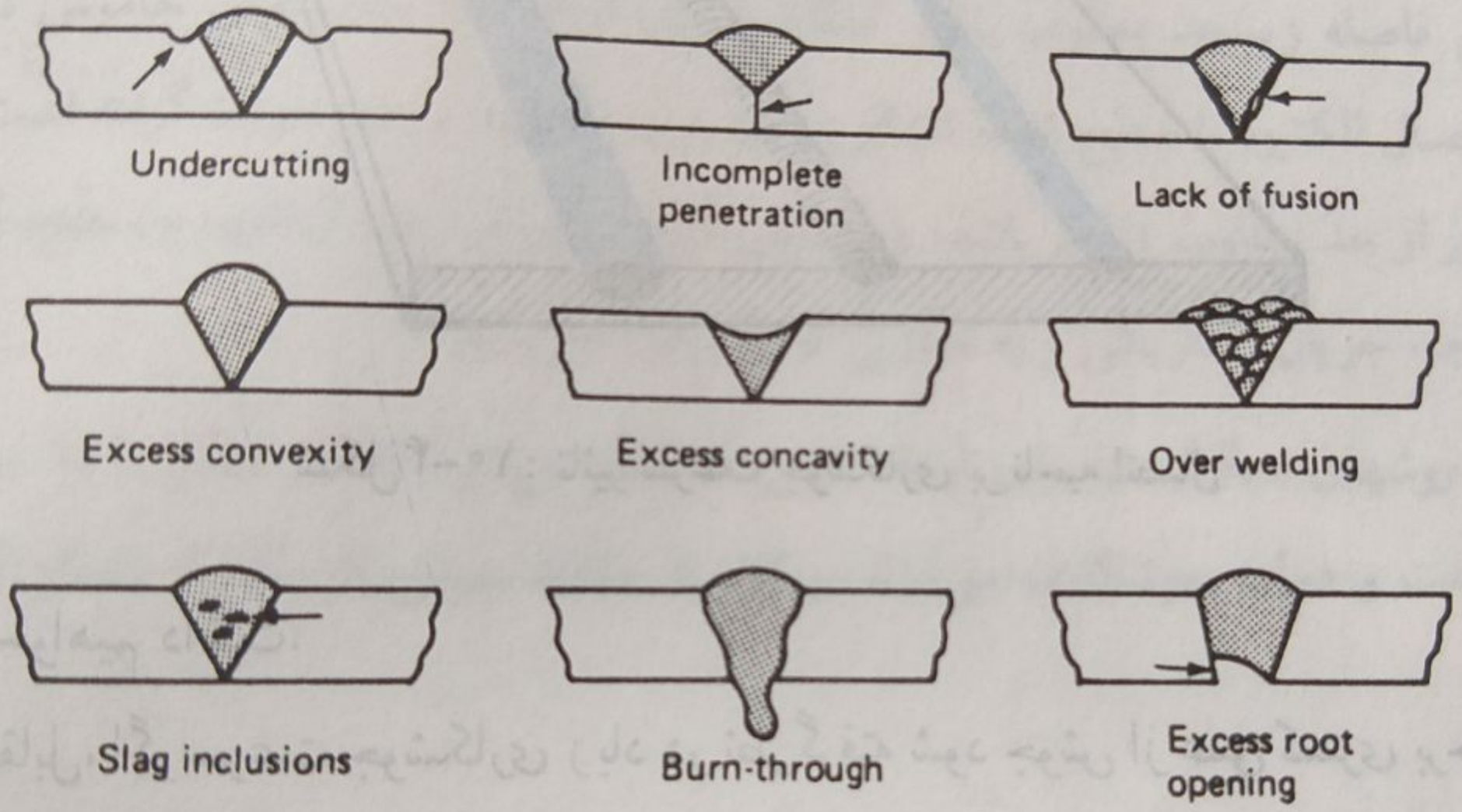


Method 2

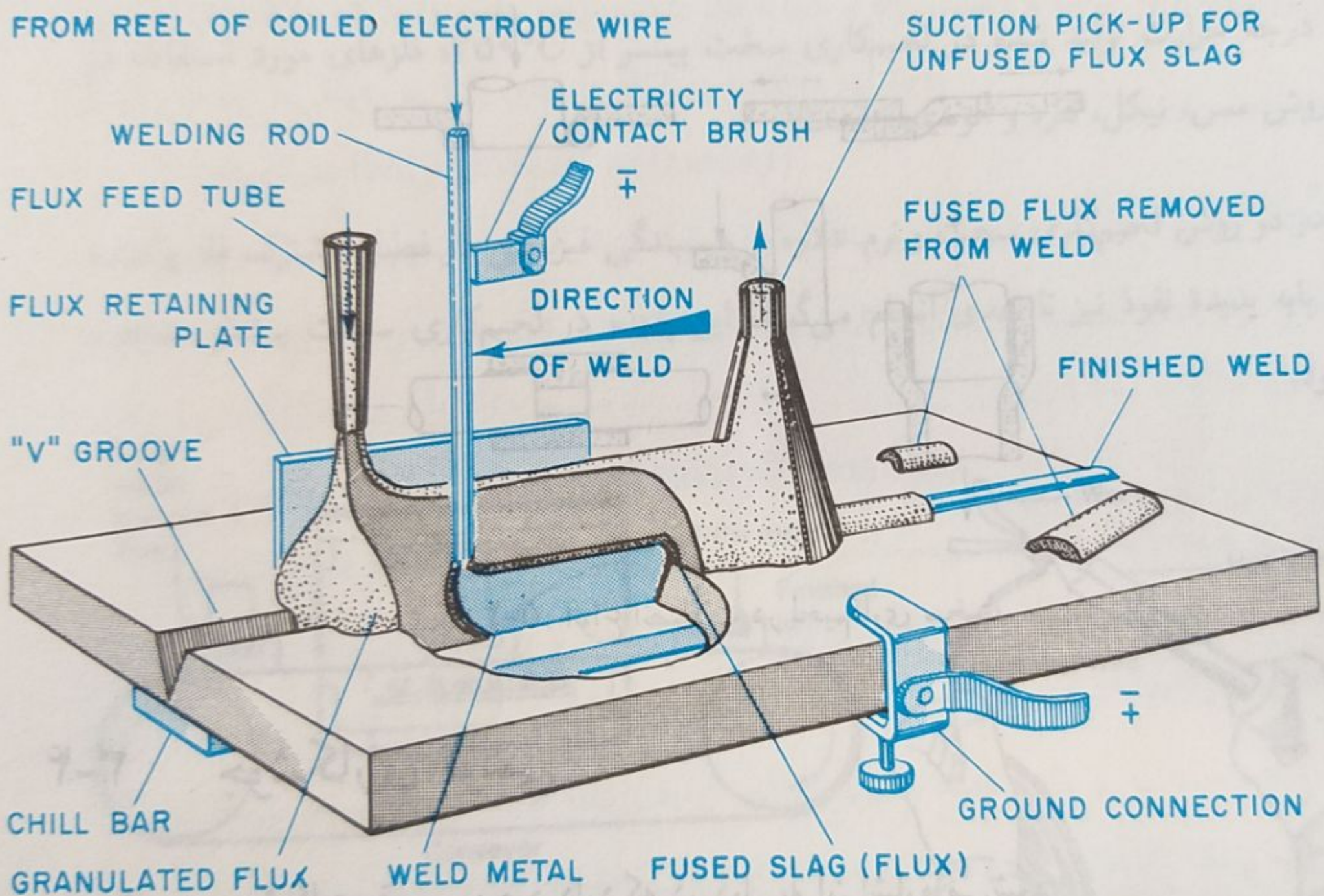
شکل۴-۹: دو روش ایجاد قوس



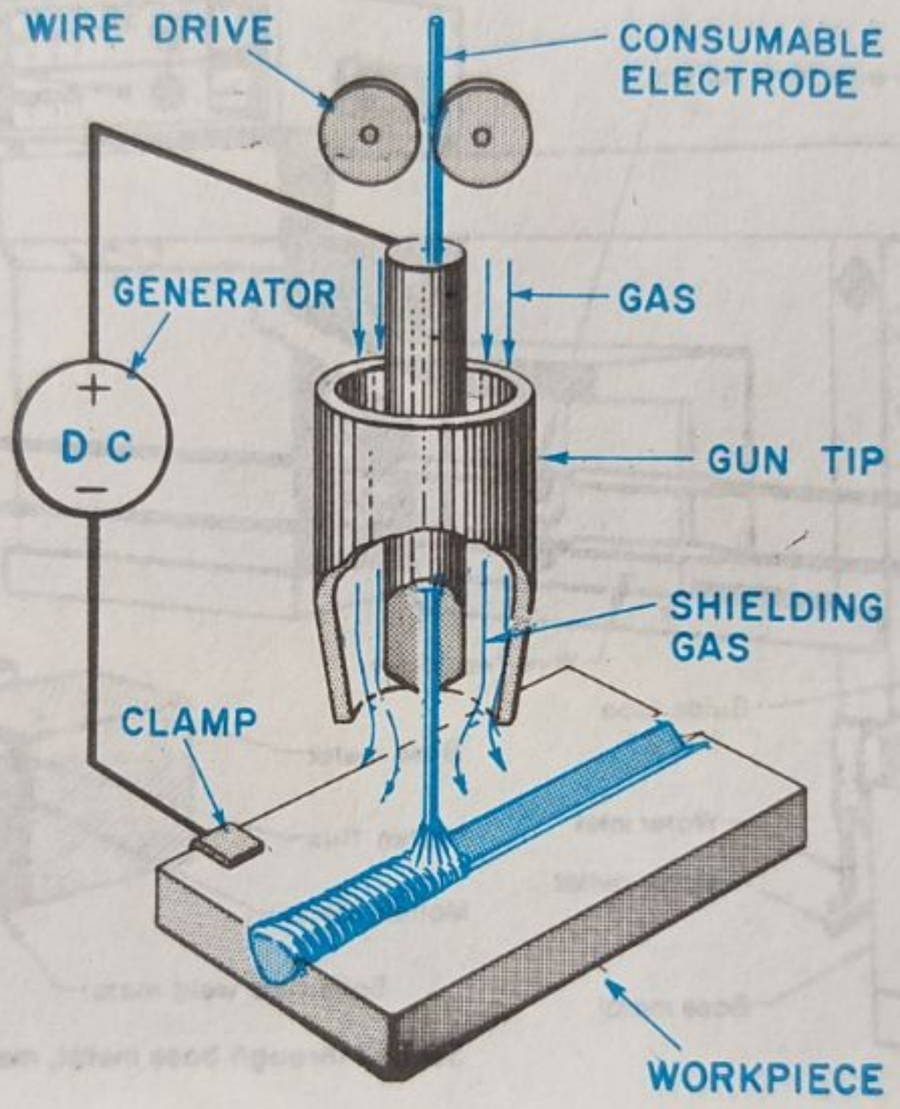
شکل۴-۱۰: تاثیر سرعت جوشکاری بر ناحیه اتصال



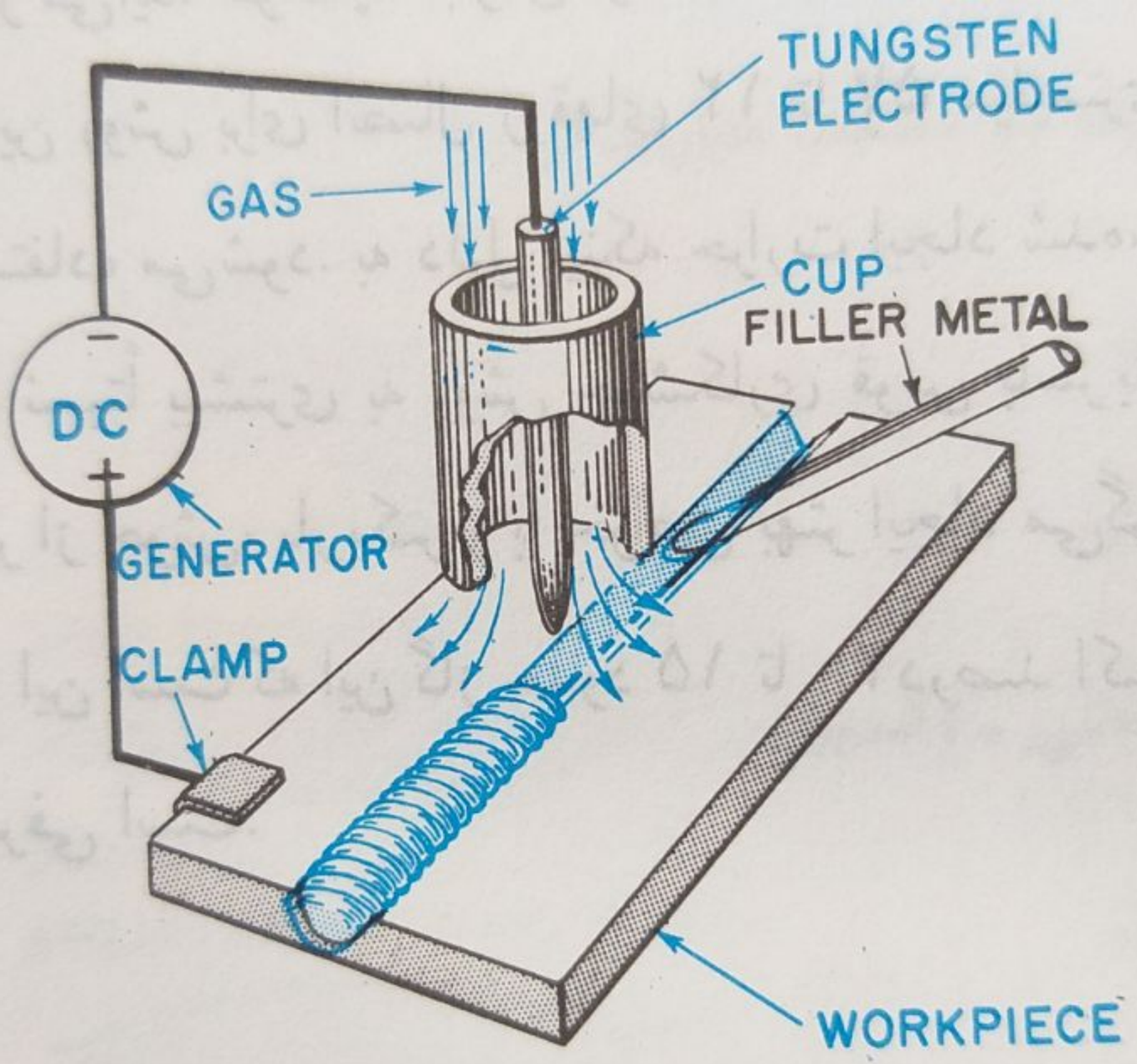
شکل۴-۱۱: شکل تعدادی از نواقص در جوشکاری MMA



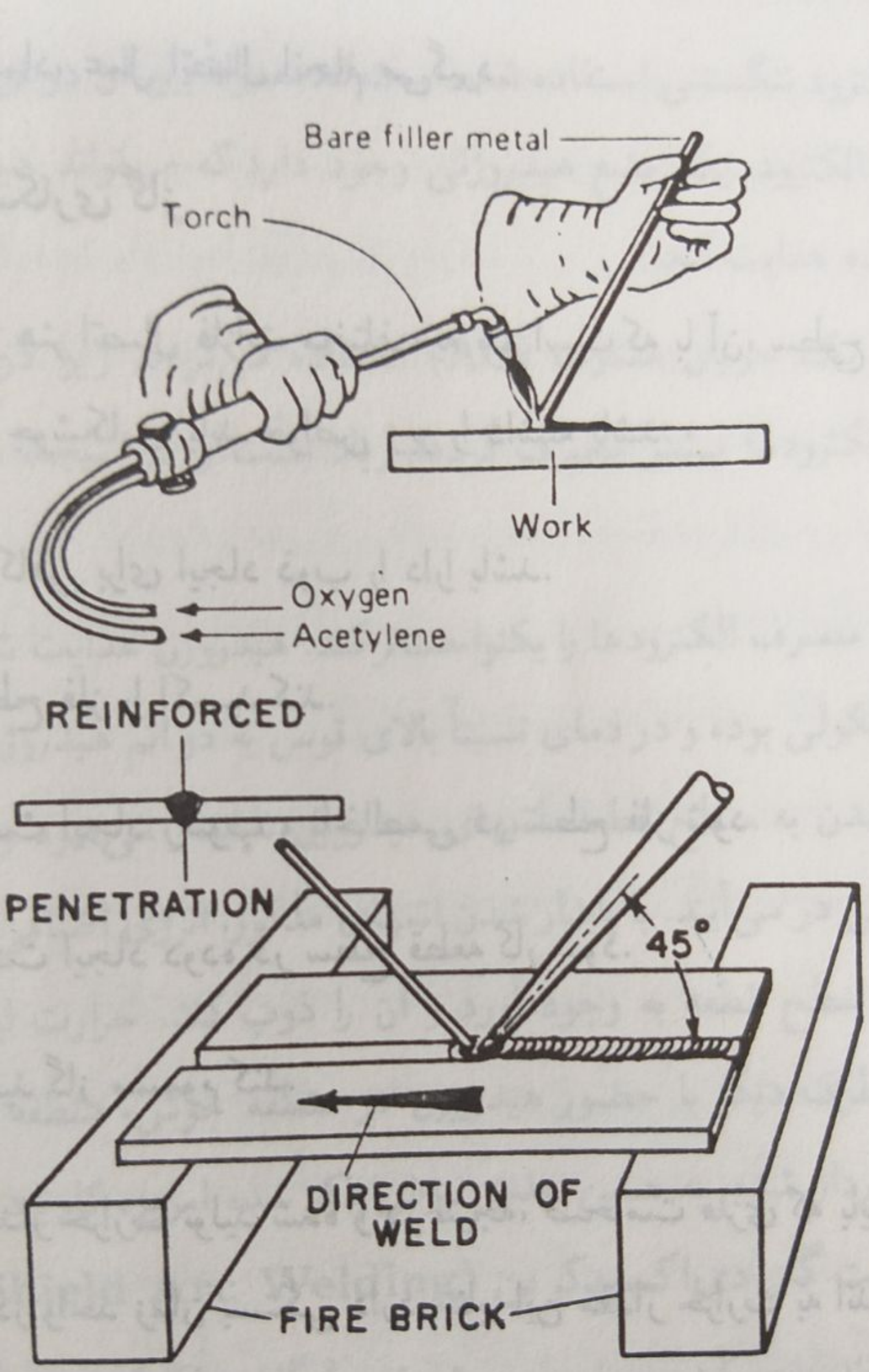
شکل۴-۶: فرایند جوشکاری با الکترود شناور



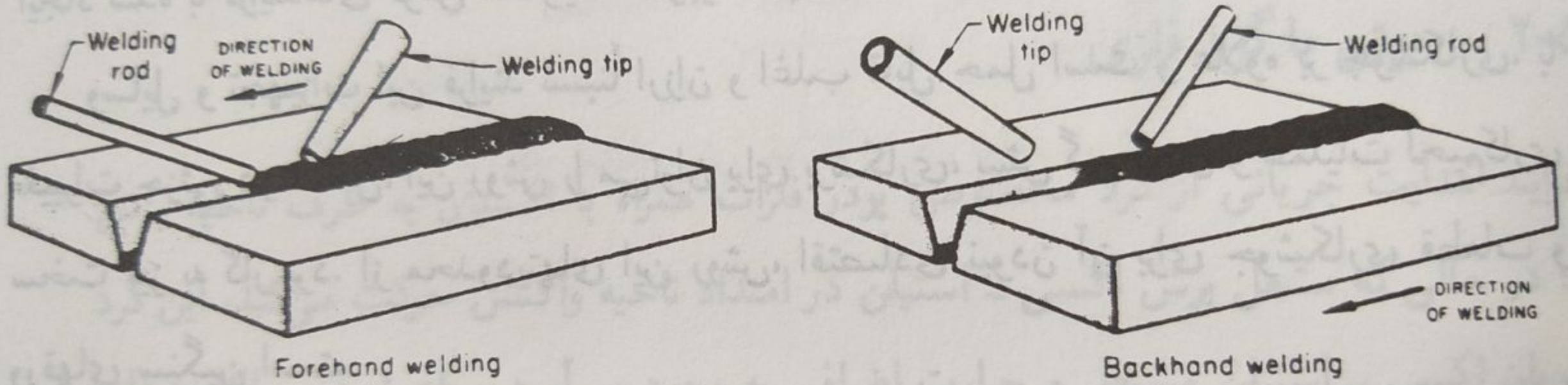
شکل۴-۱۳: روش جوشکاری قوسی با گاز محافظ (MIG)



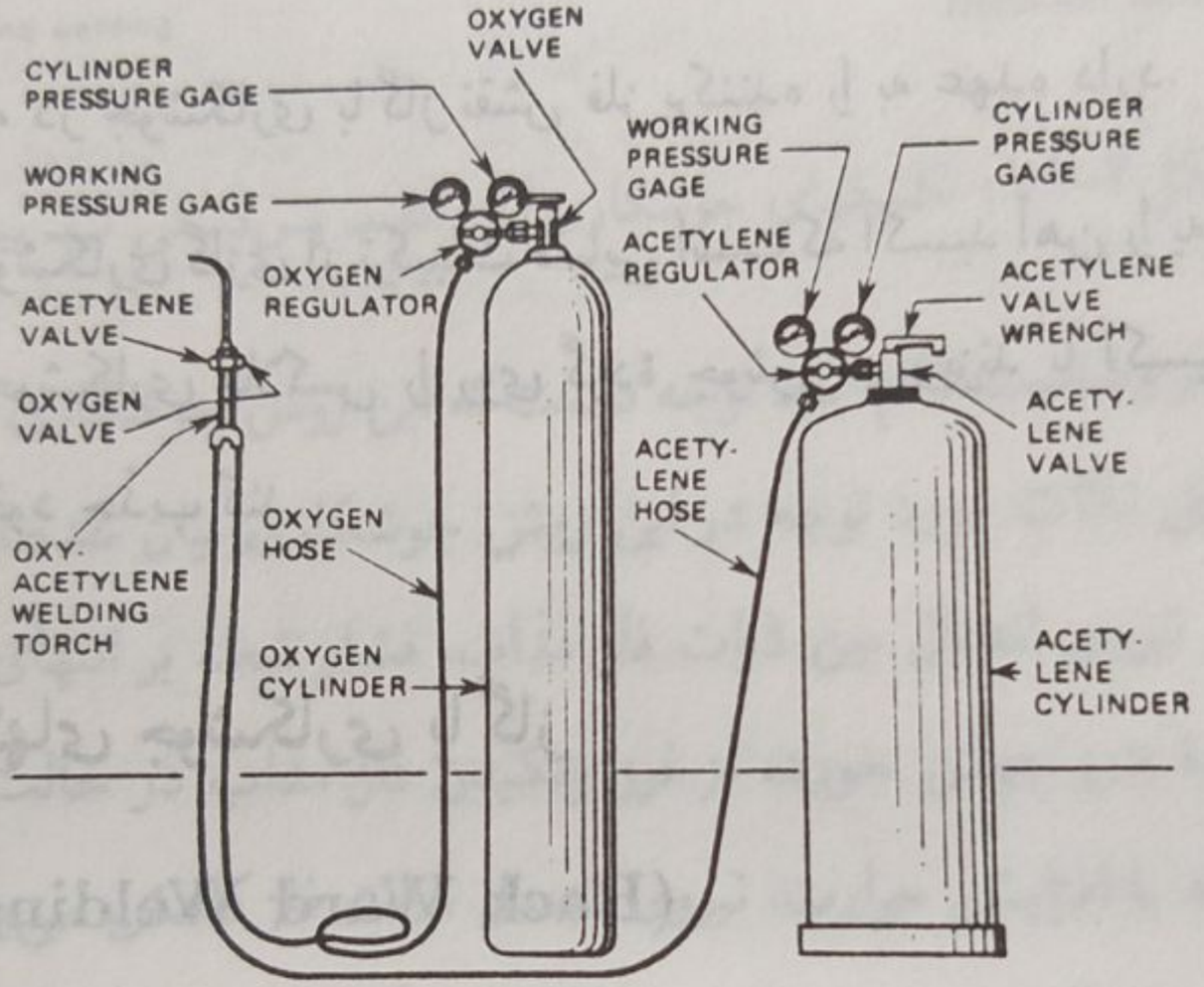
شکل۴-۱۴: روش جوشکاری قوس الکتریکی با استفاده از الکترود تنگستن (TIG)



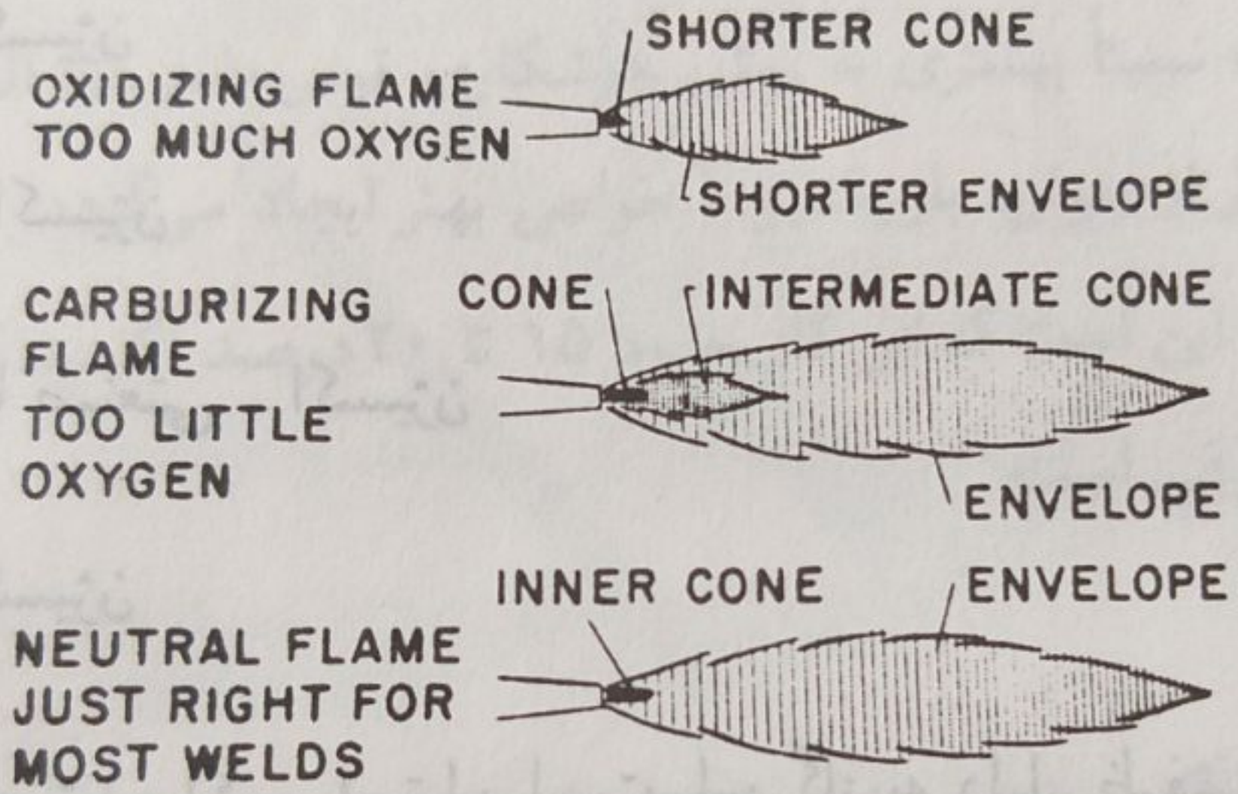
شکل۴-۱۵: فرایند جوش ذوبی ـ جوشکاری با گاز



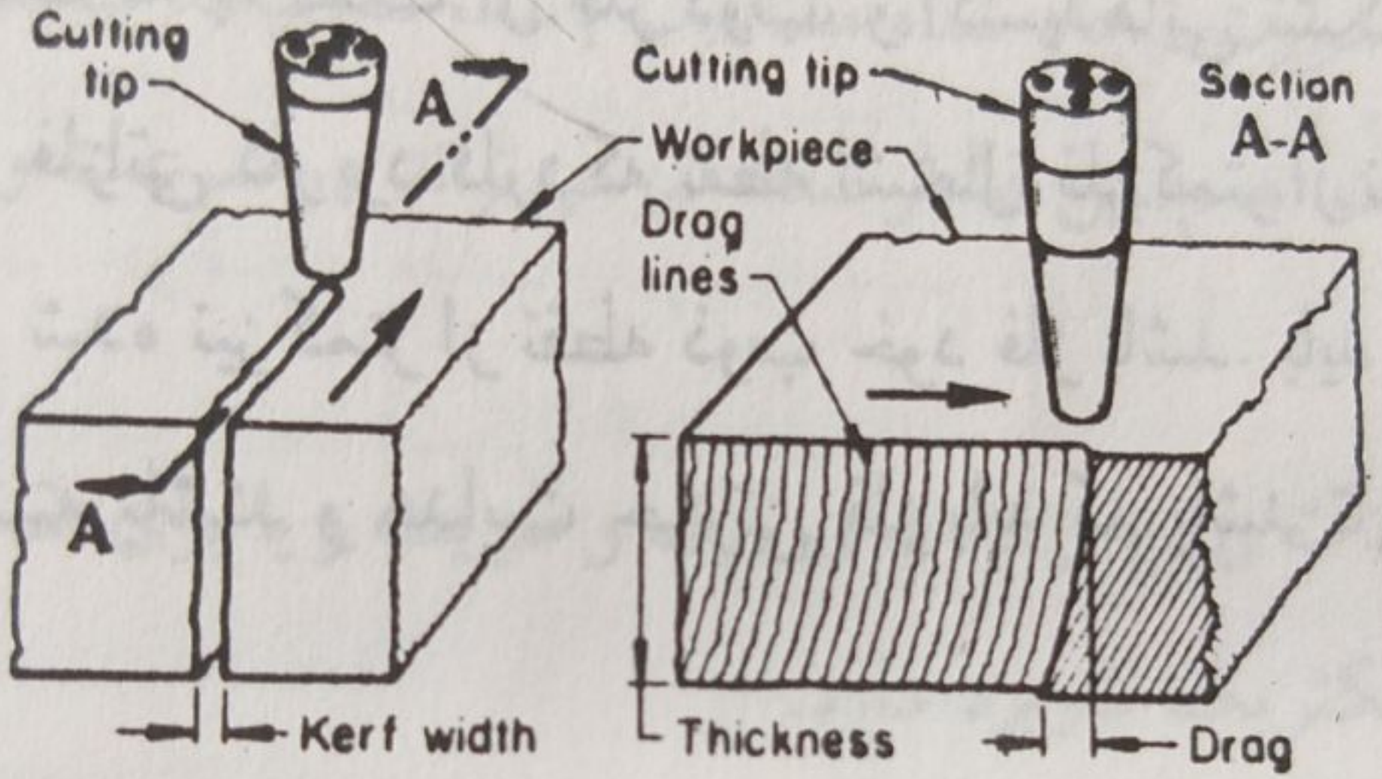
شکل۴-۱۹: تکنیکهای جوشکاری گاز: الف- پس‌دستی ب- پیش‌دستی



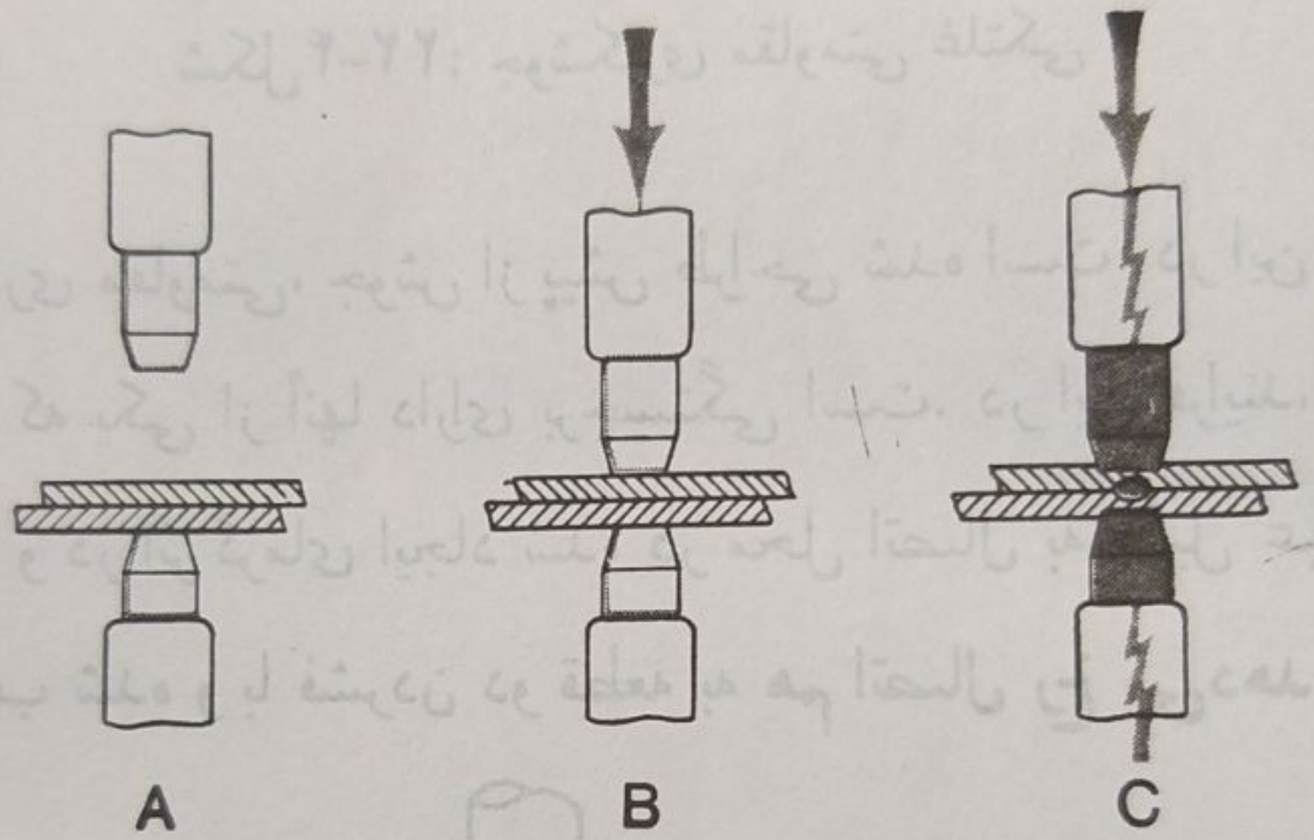
شکل ۴-۱۷: سیلندر گاز استیلن و اکسیژن و ریگلاتورهای مورد استفاده



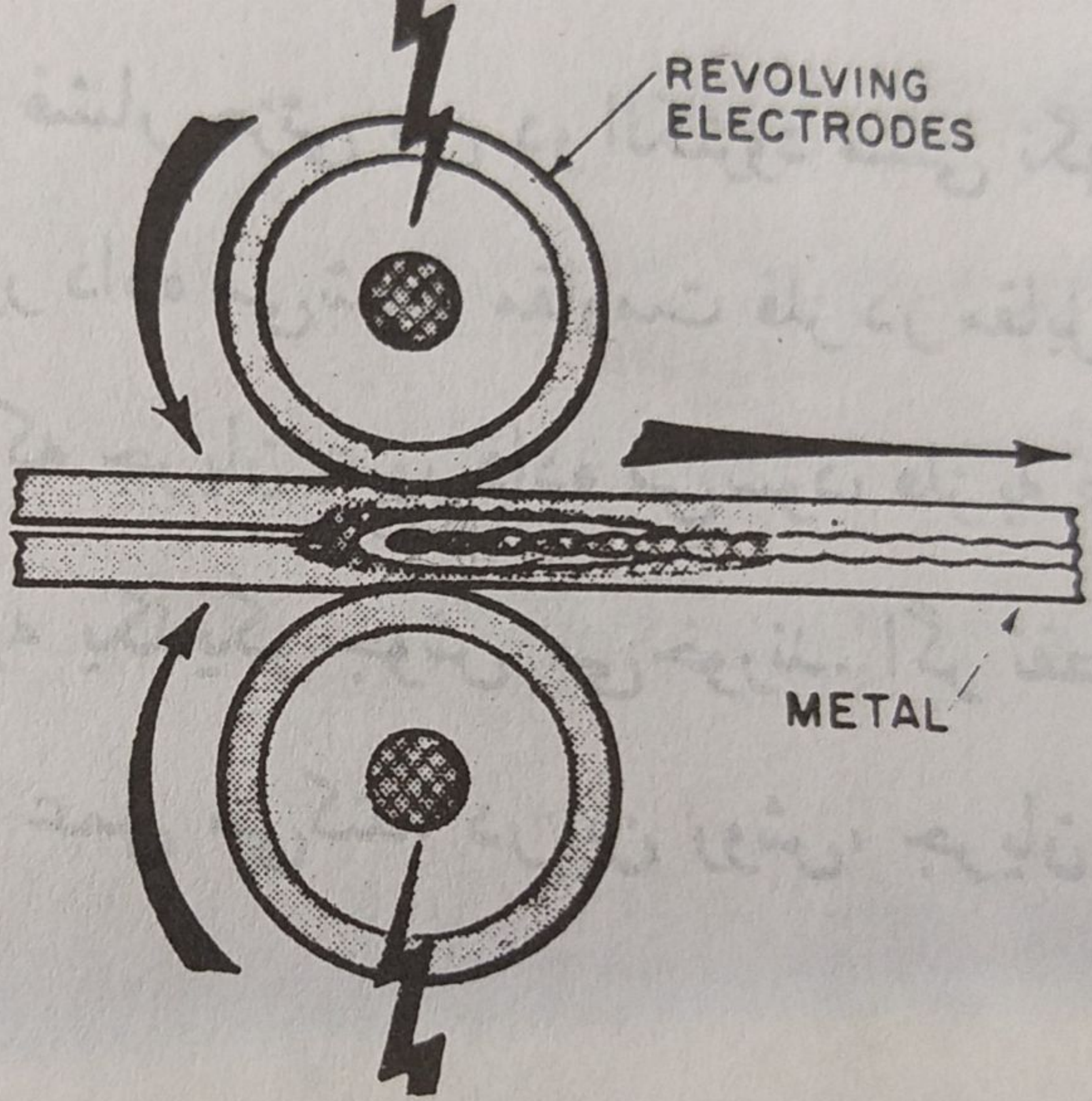
شکل۴-۱۶: شکل انواع شعله ـ الف) شعله اکسیدی، ب) شعله احیایی، ج) شعله خنثی



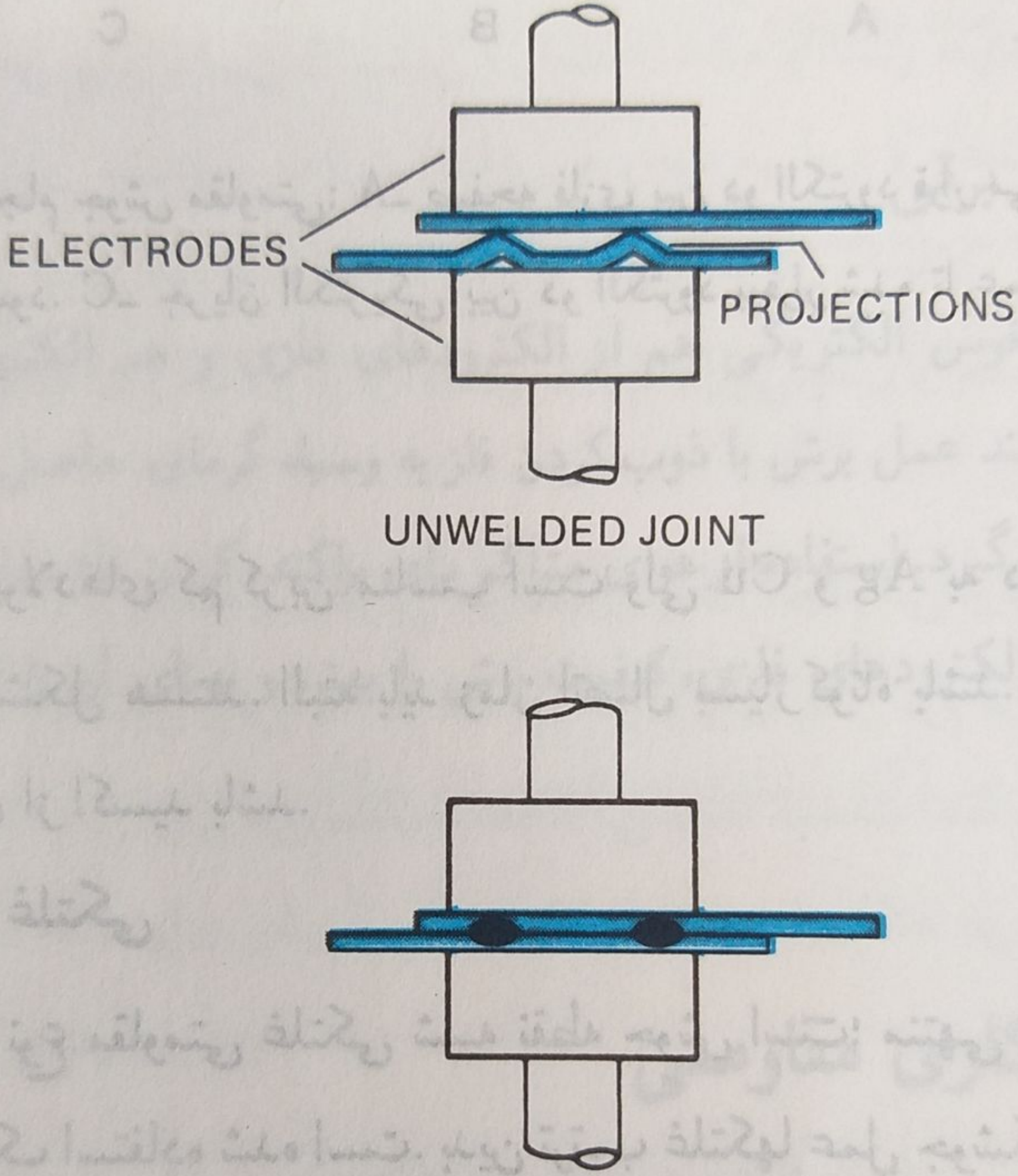
شکل۴-۲۰: سطح مقطع برش خورده از یک قطعه کار با شعله دیده می‌شود.



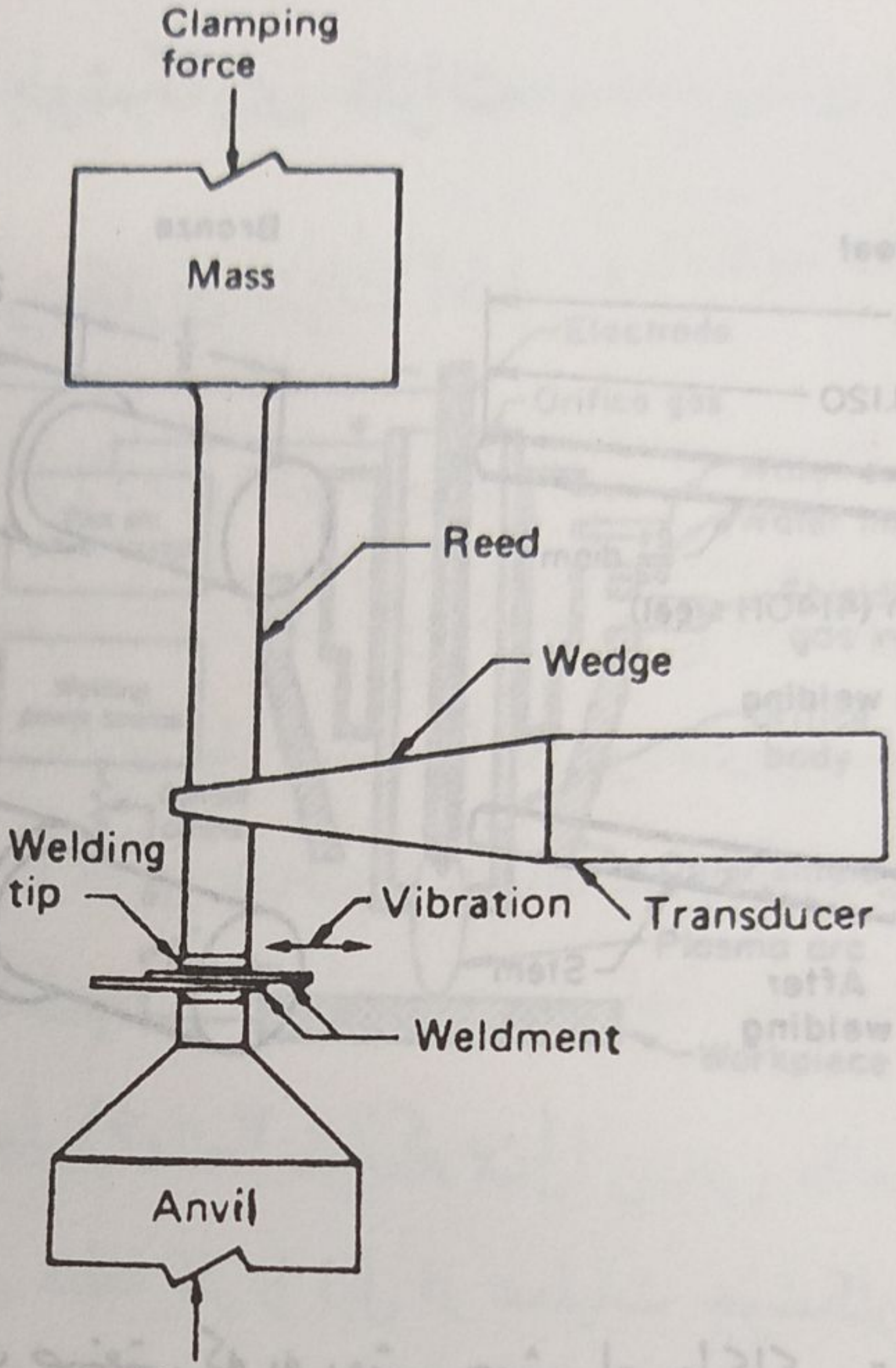
شکل۴-۲۱: مراحل انجام جوش مقاومتی: A- صفحه فلزی بین دو الکترود قرار می‌گیرد. B- فشار به دو صفحه فلزی وارد می‌شود. C- جریان الکتریکی بین دو الکترود برقرار شده تا عمل جوشکاری با ذوب انجام شود.



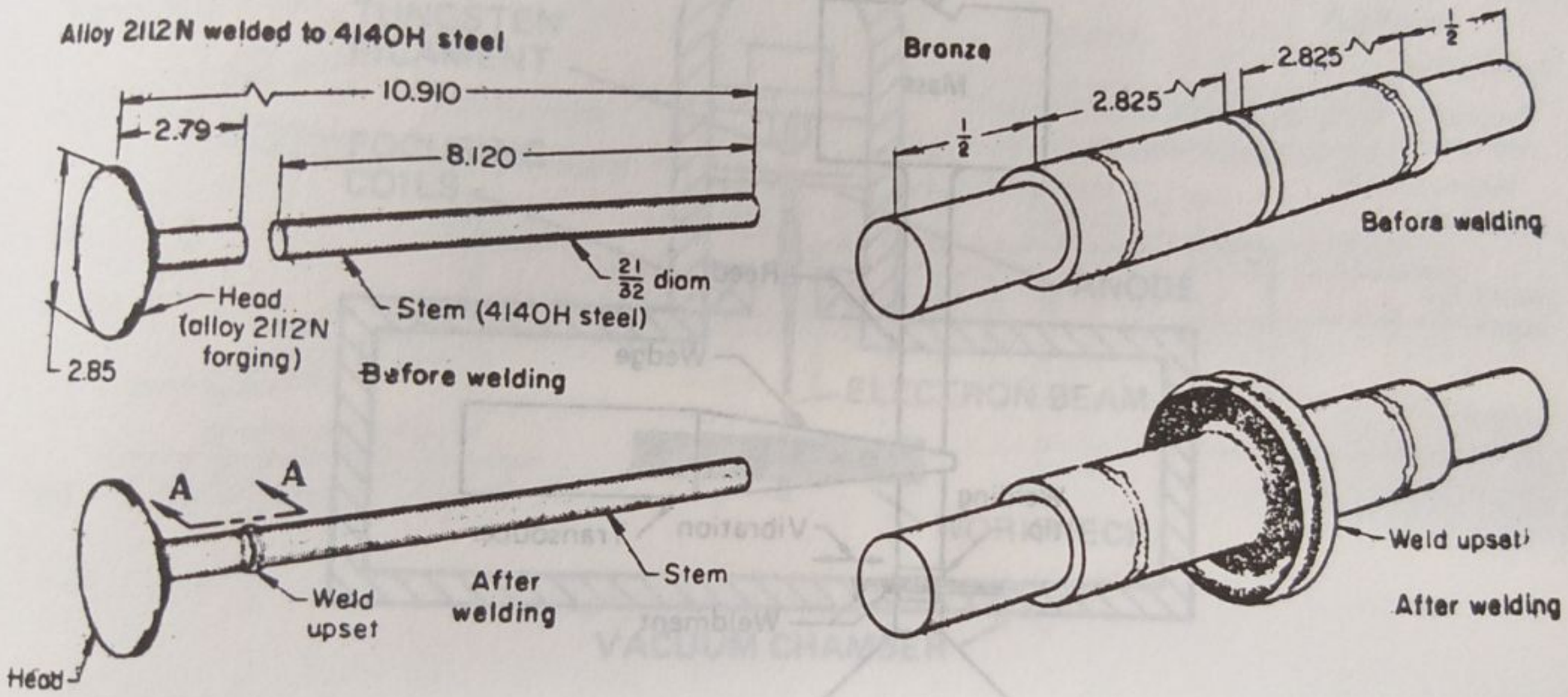
شکل۴-۲۲: جوشکاری مقاومتی غلتکی



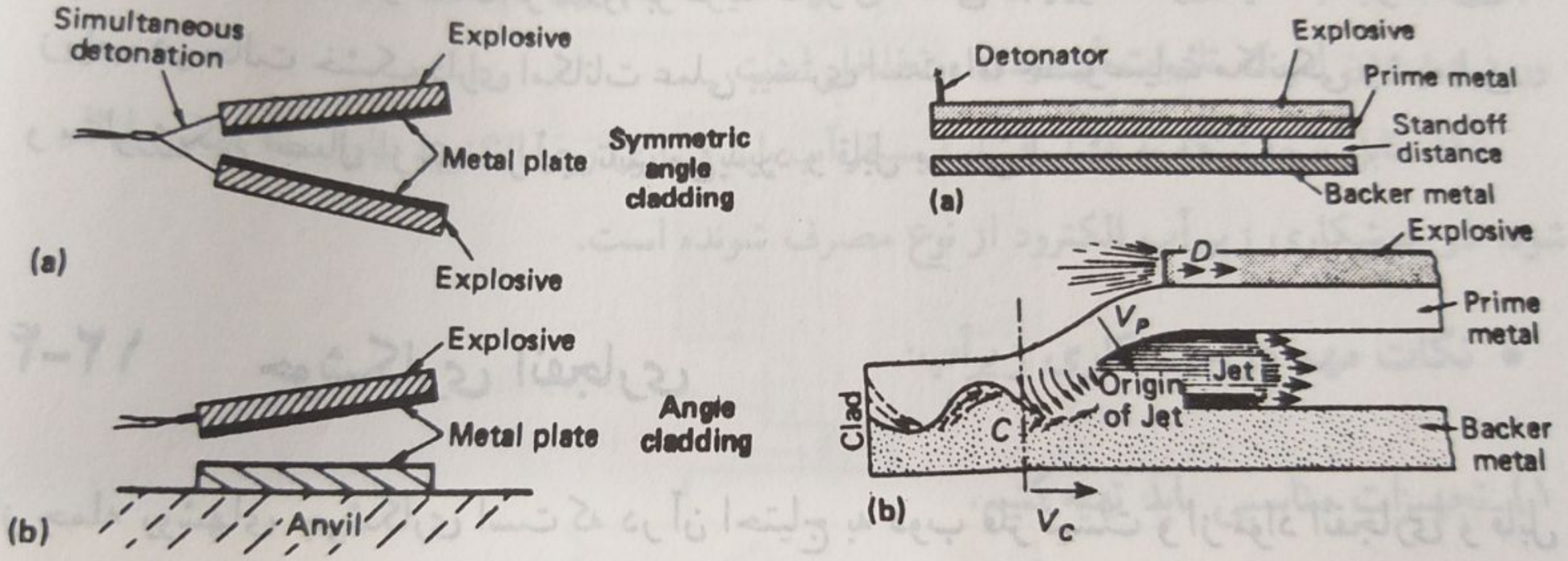
شکل۴-۲۳: جوش مقاومتی از پیش طراحی شده



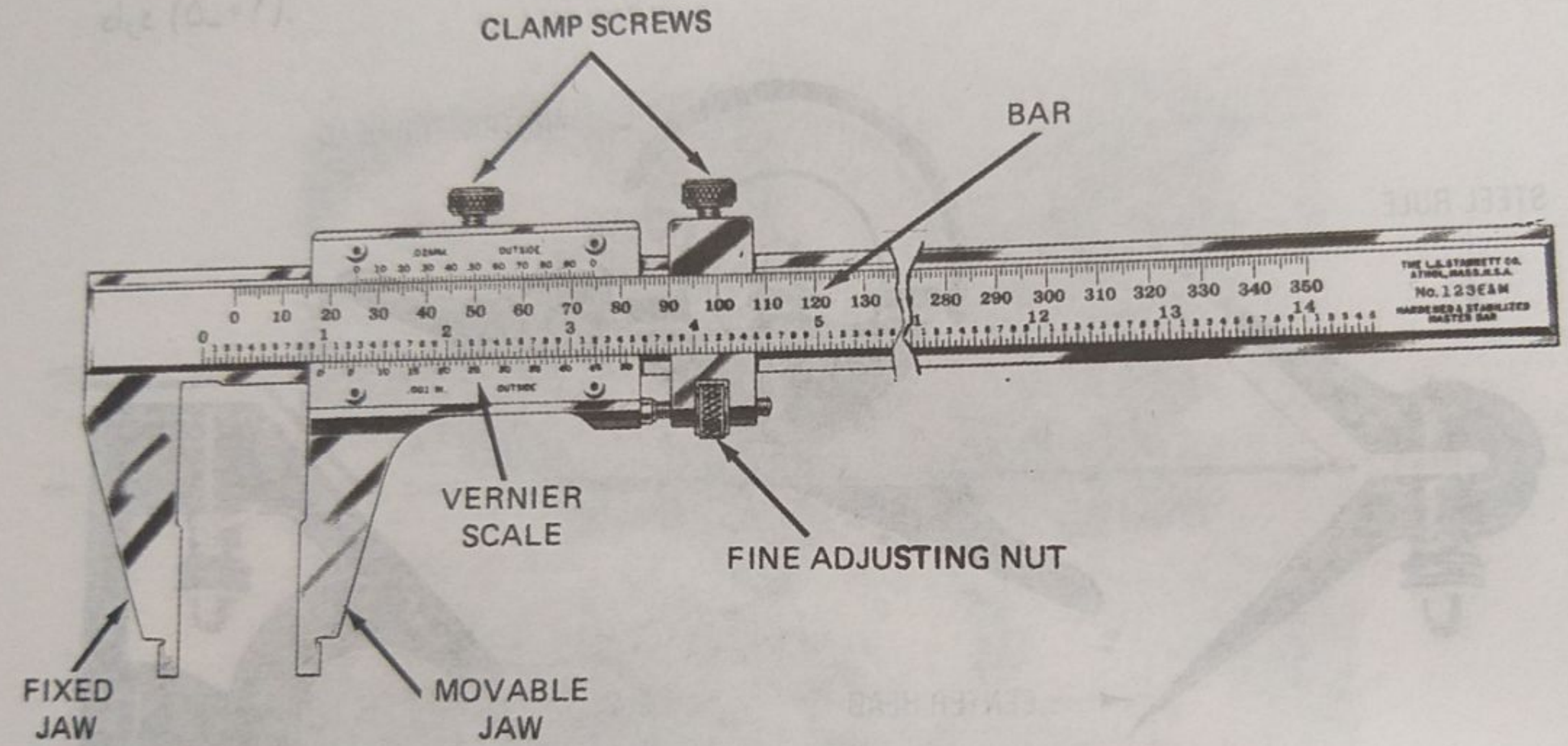
شکل۴-۳۱: مکانیزم جوش اولتراسونیک



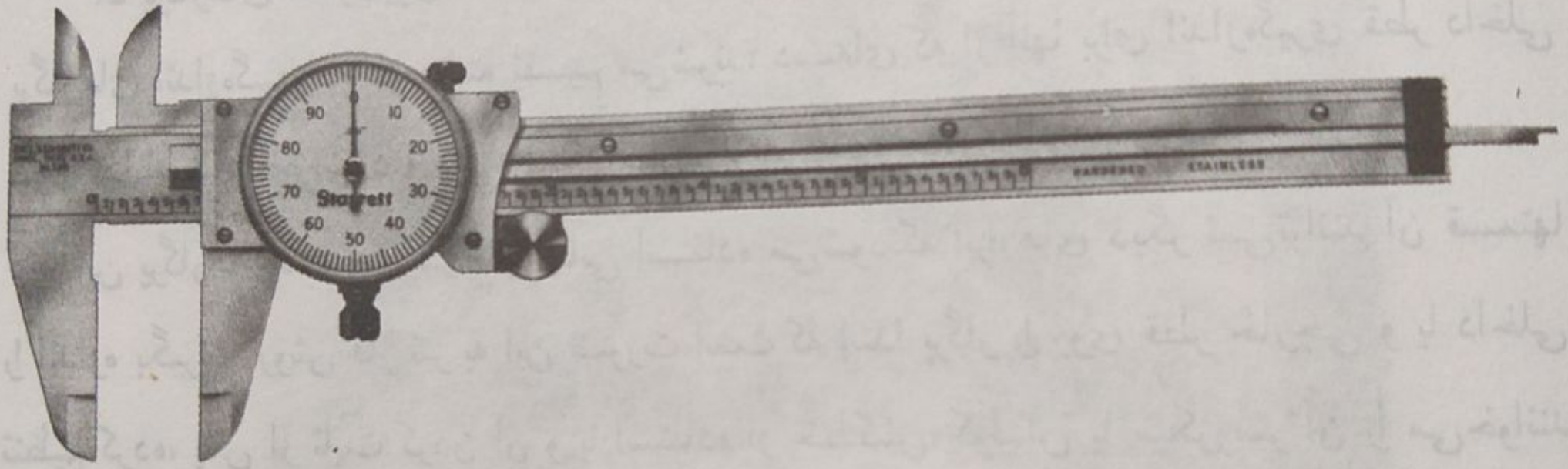
شکل۴-۳۳: قطعات صنعتی که به روش جوش اصطکاکی تولید می‌شوند



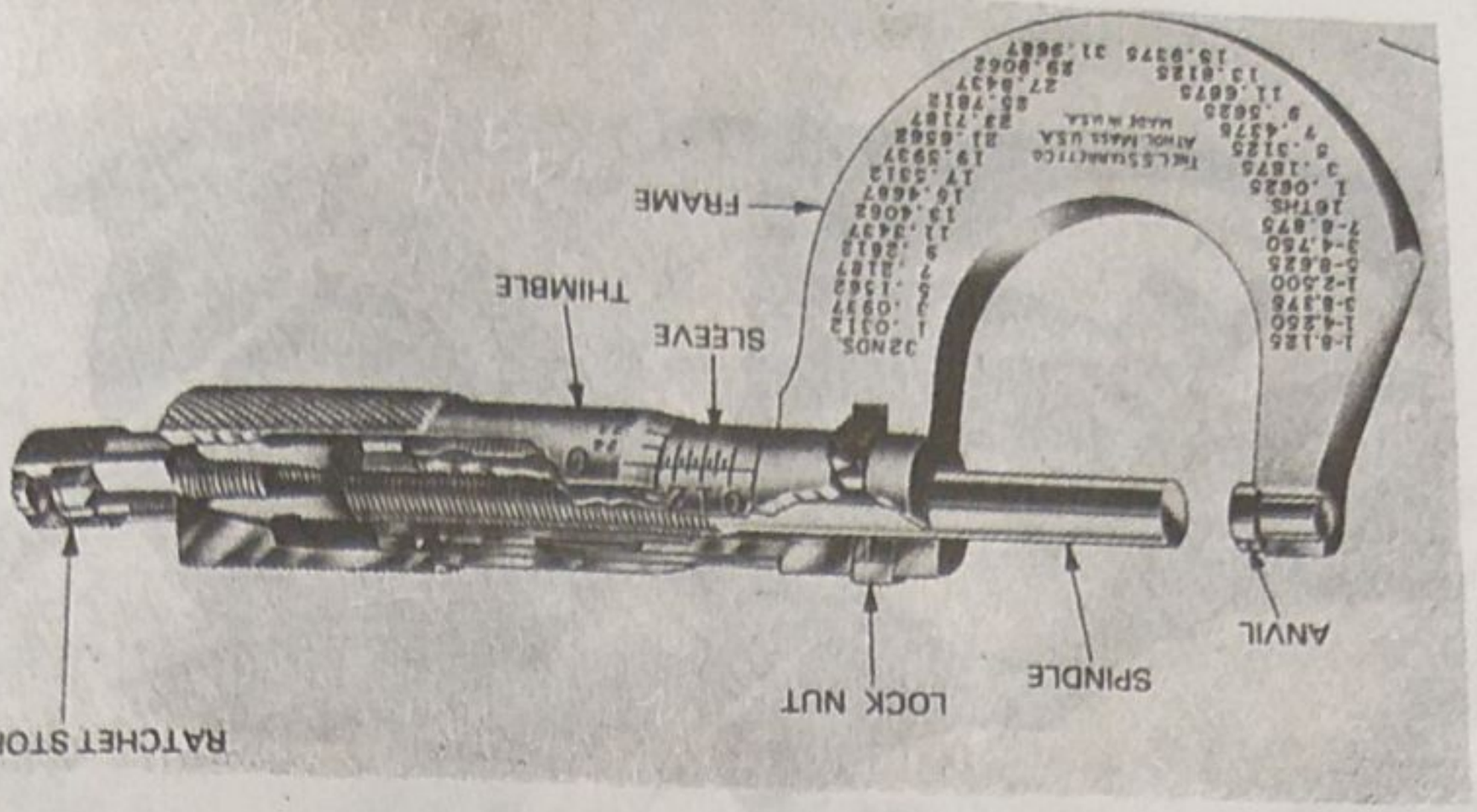
شکل۴-۲۸: شماتیک جوشکاری انفجاری



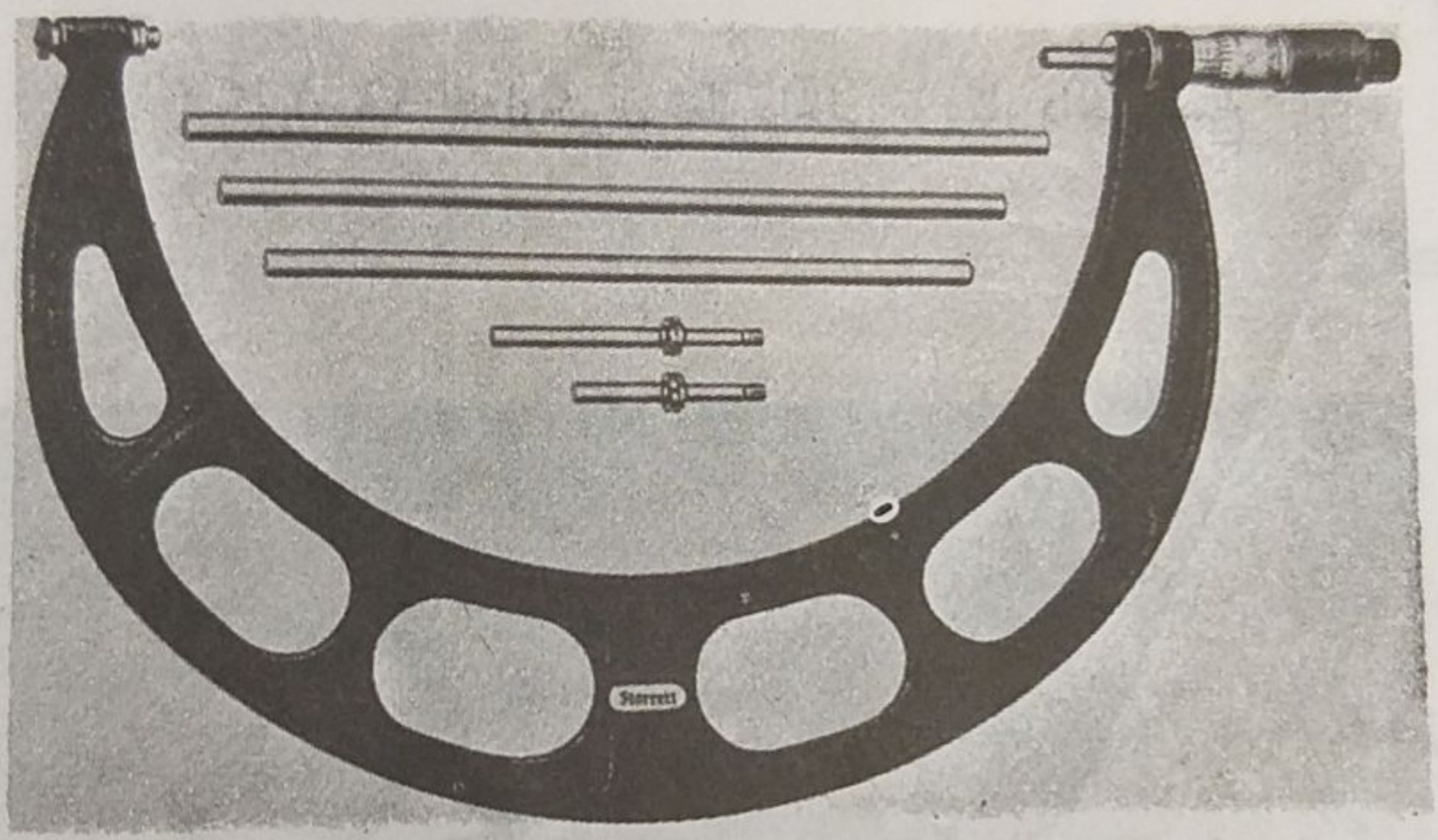
شکل۵-۸: قسمتهای مختلف یک کولیس ساده



شکل۵-۹: یک نمونه کولیس عقربه‌ای با عمق‌سنج

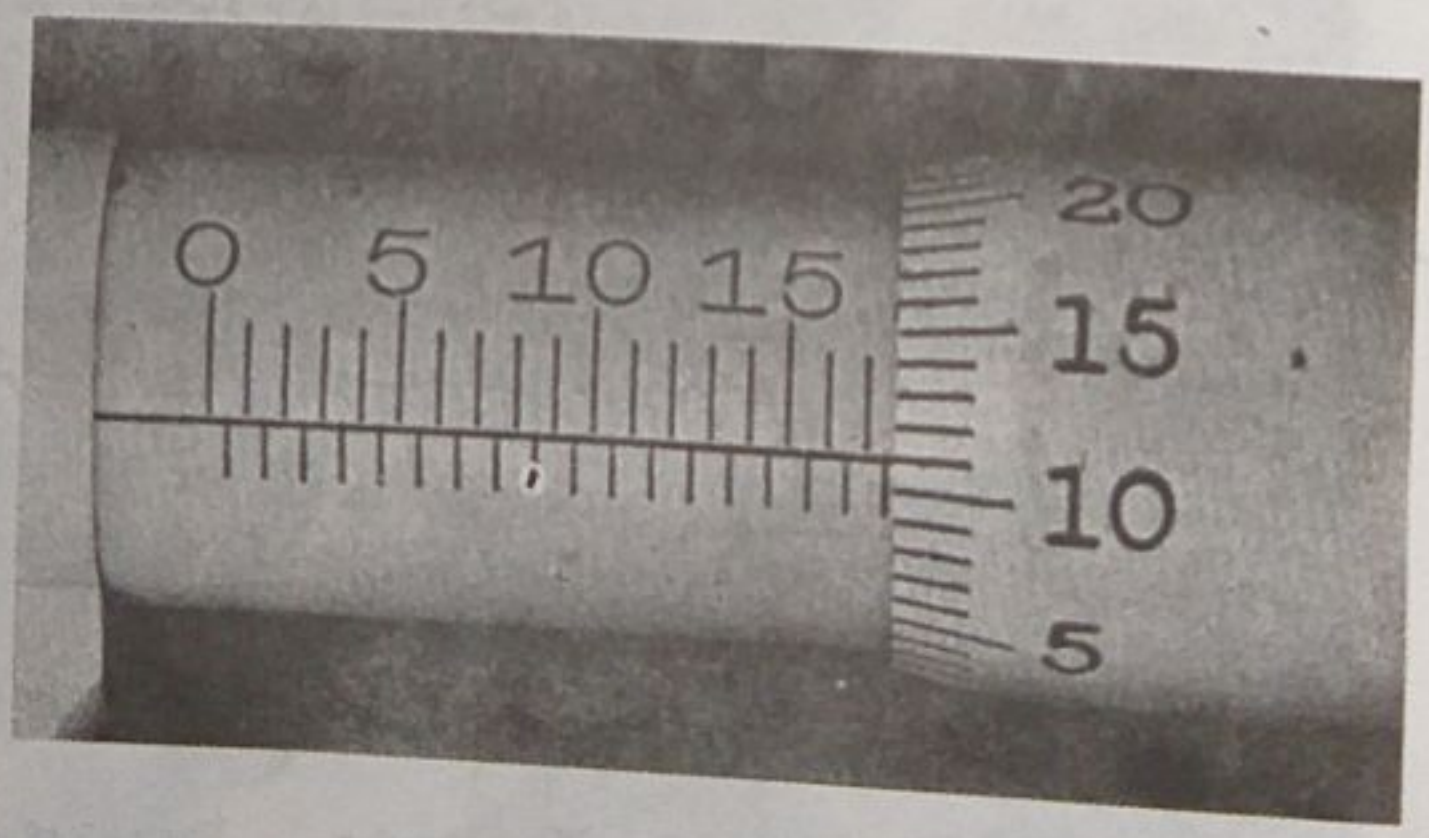


شکل۵-۱۳: اجزای یک میکرومتر معمولی

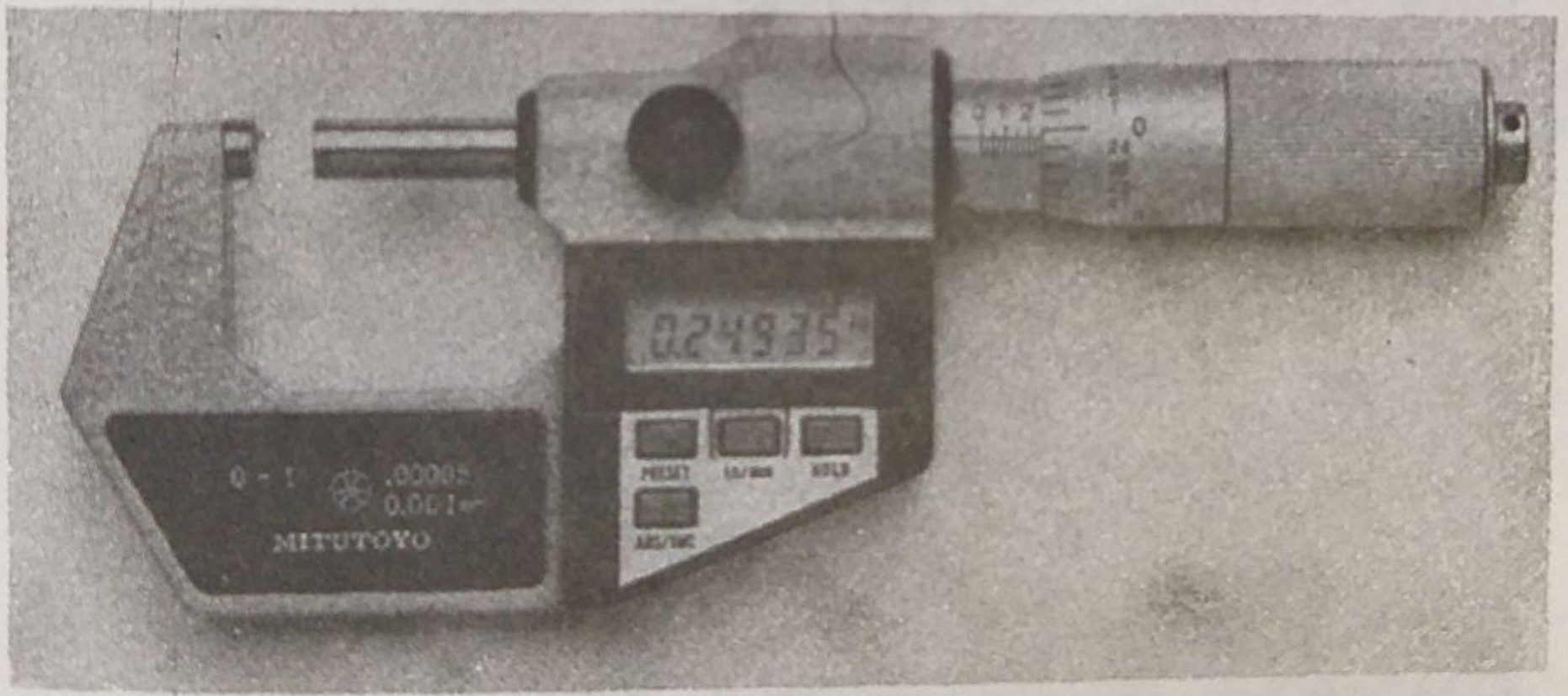


شکل۵-۱۴: میکرومتر فرم بزرگ با متعلقات آن

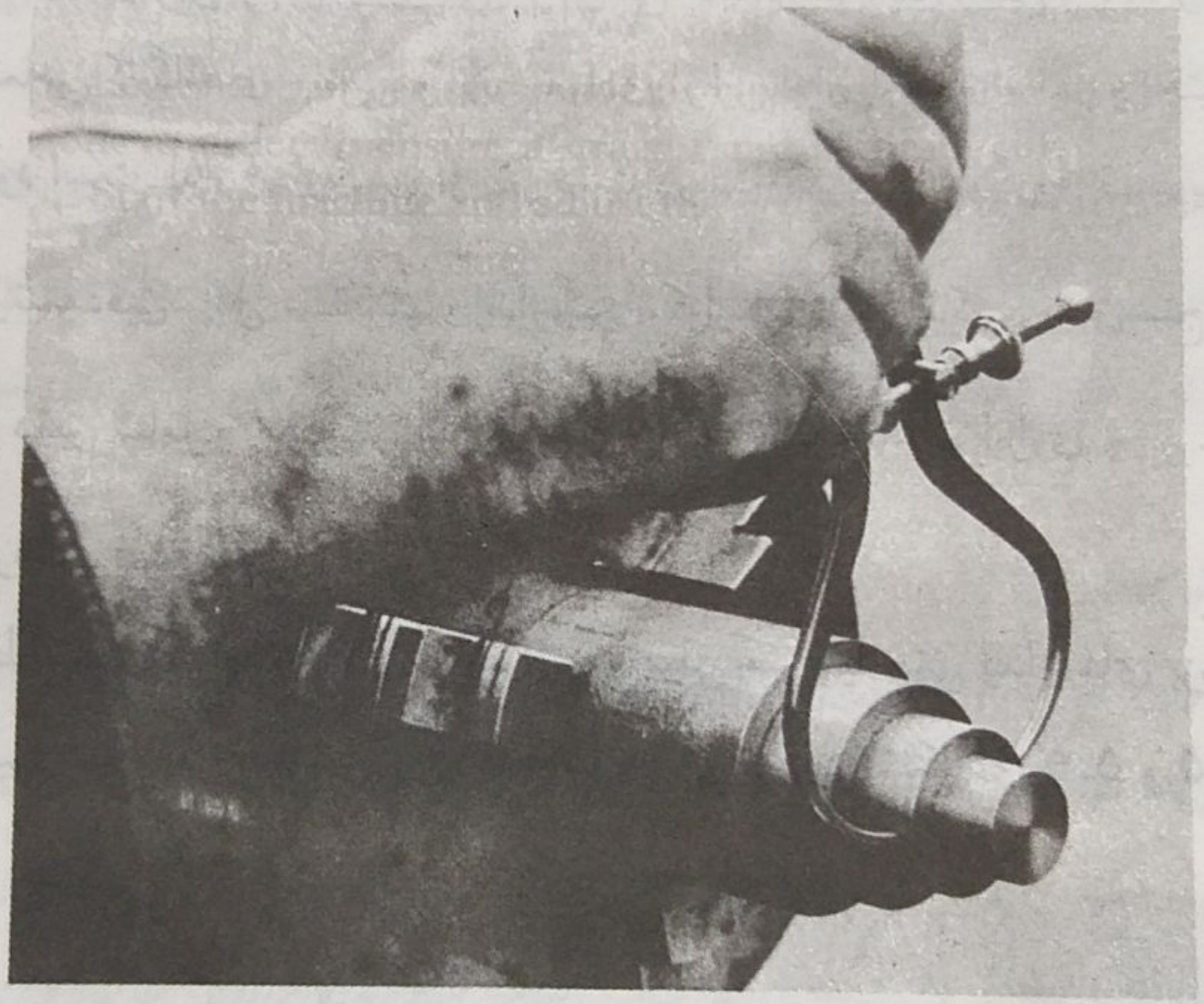
شکل۵-۱۵: میکرومتر داخل سنج برای اندازه اندازه‌گیری قطر داخلی



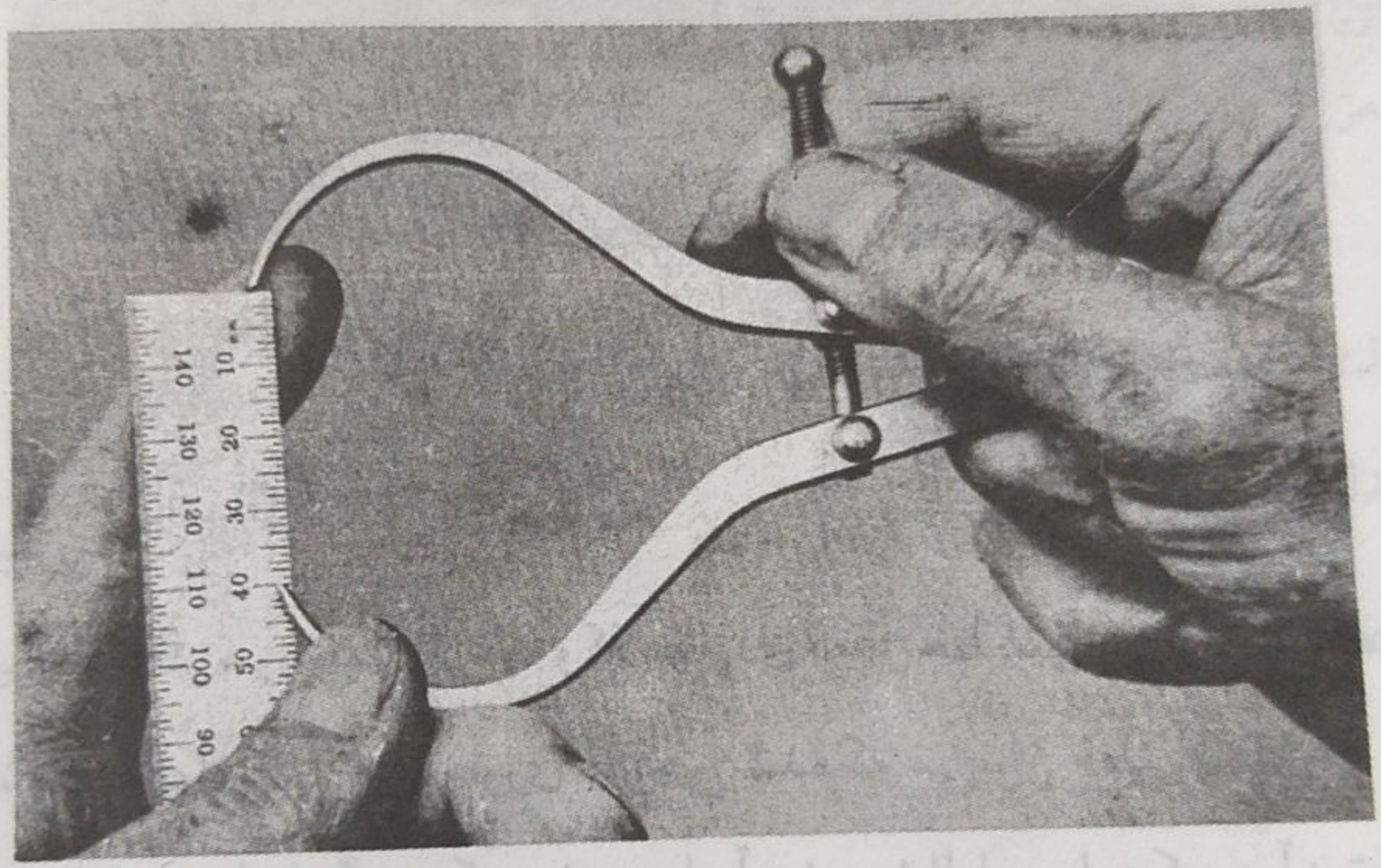
شکل۵-۱۶: طریقه خواندن یک میکرومتر در سیستم متریک ۱۷+۰٫۵+۰٫۱۱=۱۷٫۶۱mm



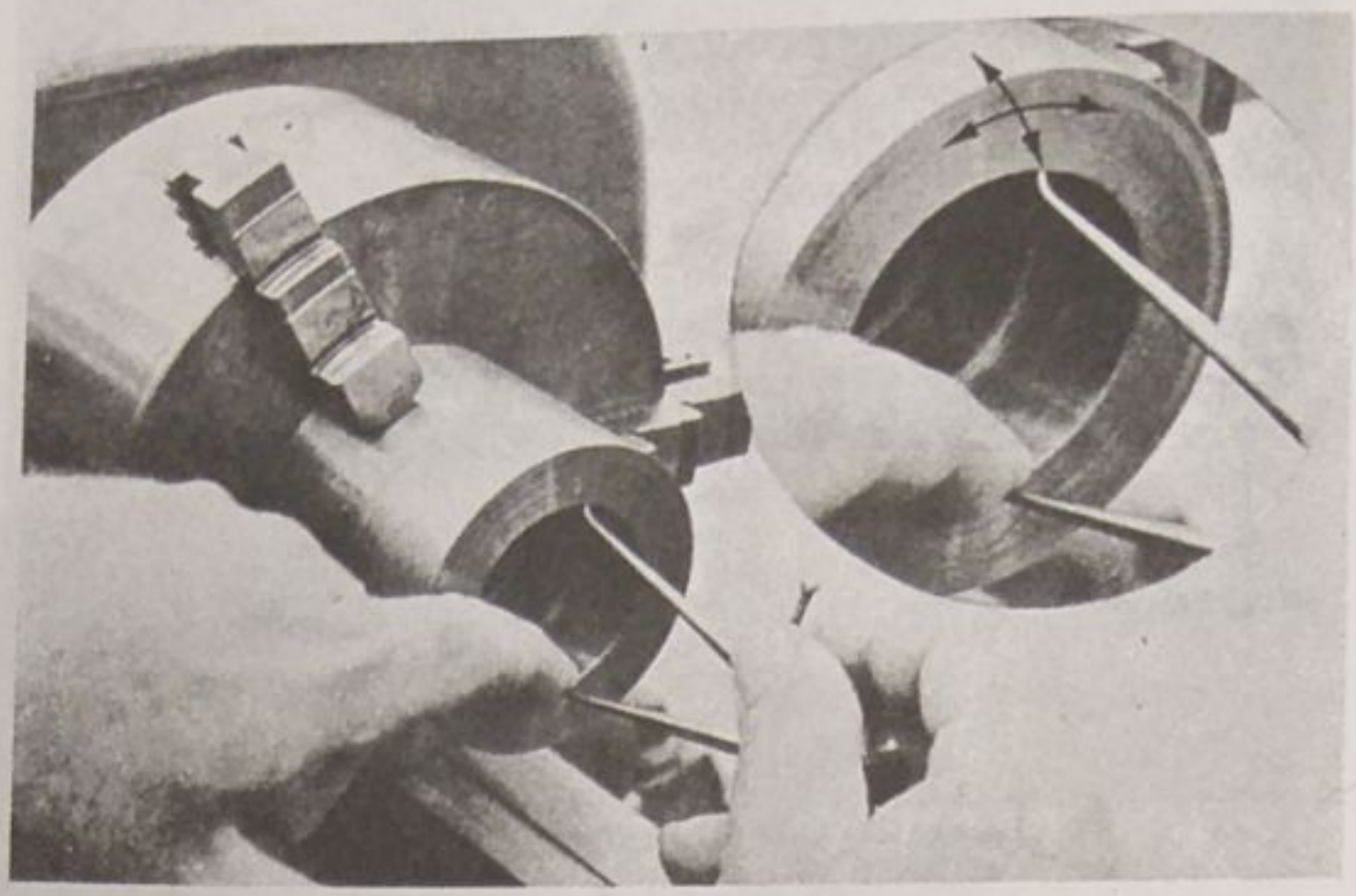
شکل۵-۱۷: میکرومتر دیجیتالی



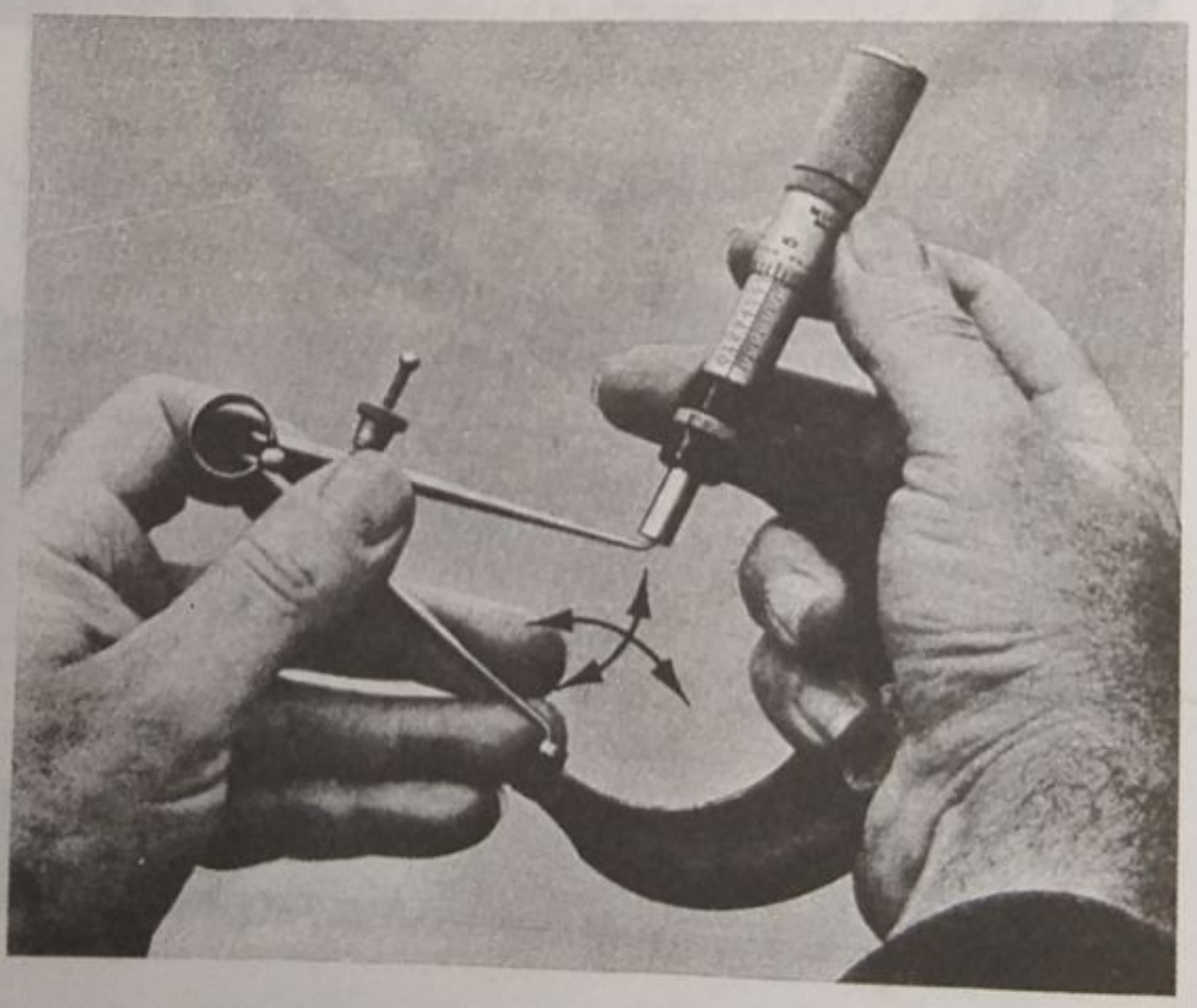
شکل۵-۶: اندازه‌گیری قطر خارجی با پرگار



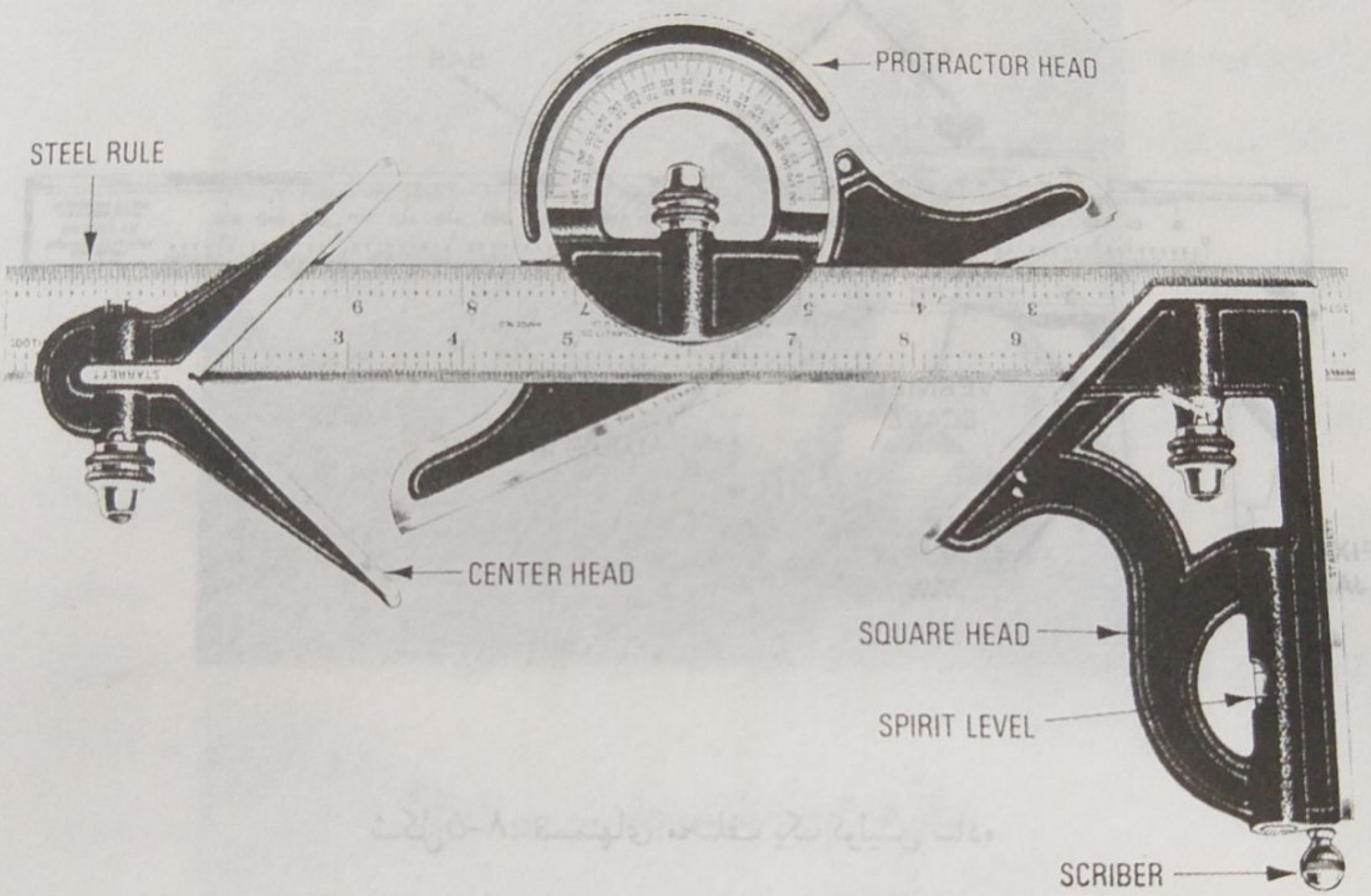
شکل۵-۷: اندازه‌گیری دهانه پرگار برای اندازه‌گیری قطری که پرگار اندازه گرفته است



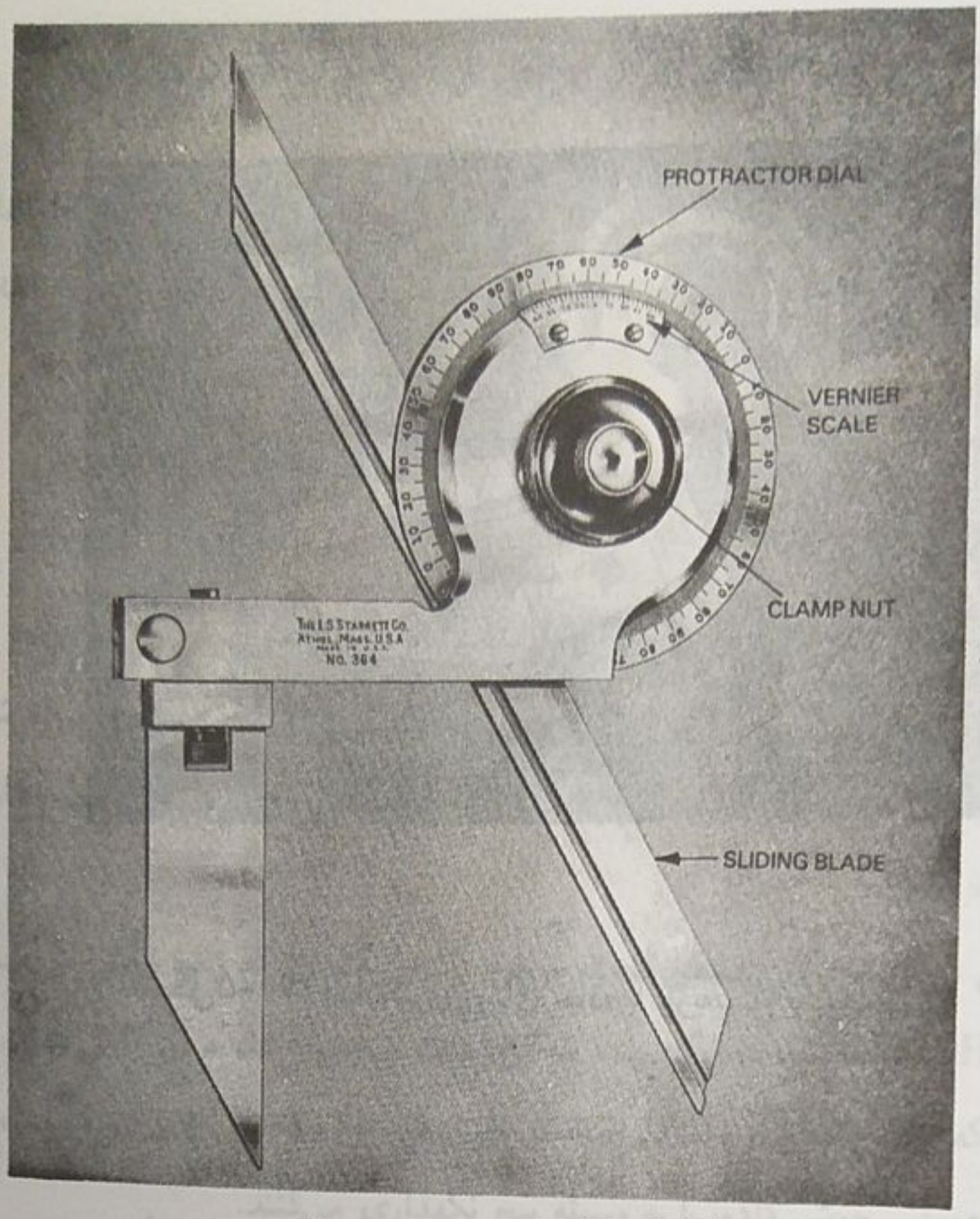
شکل۵-۱۱: اندازه‌گیری قطر داخلی با پرگار داخل سنج



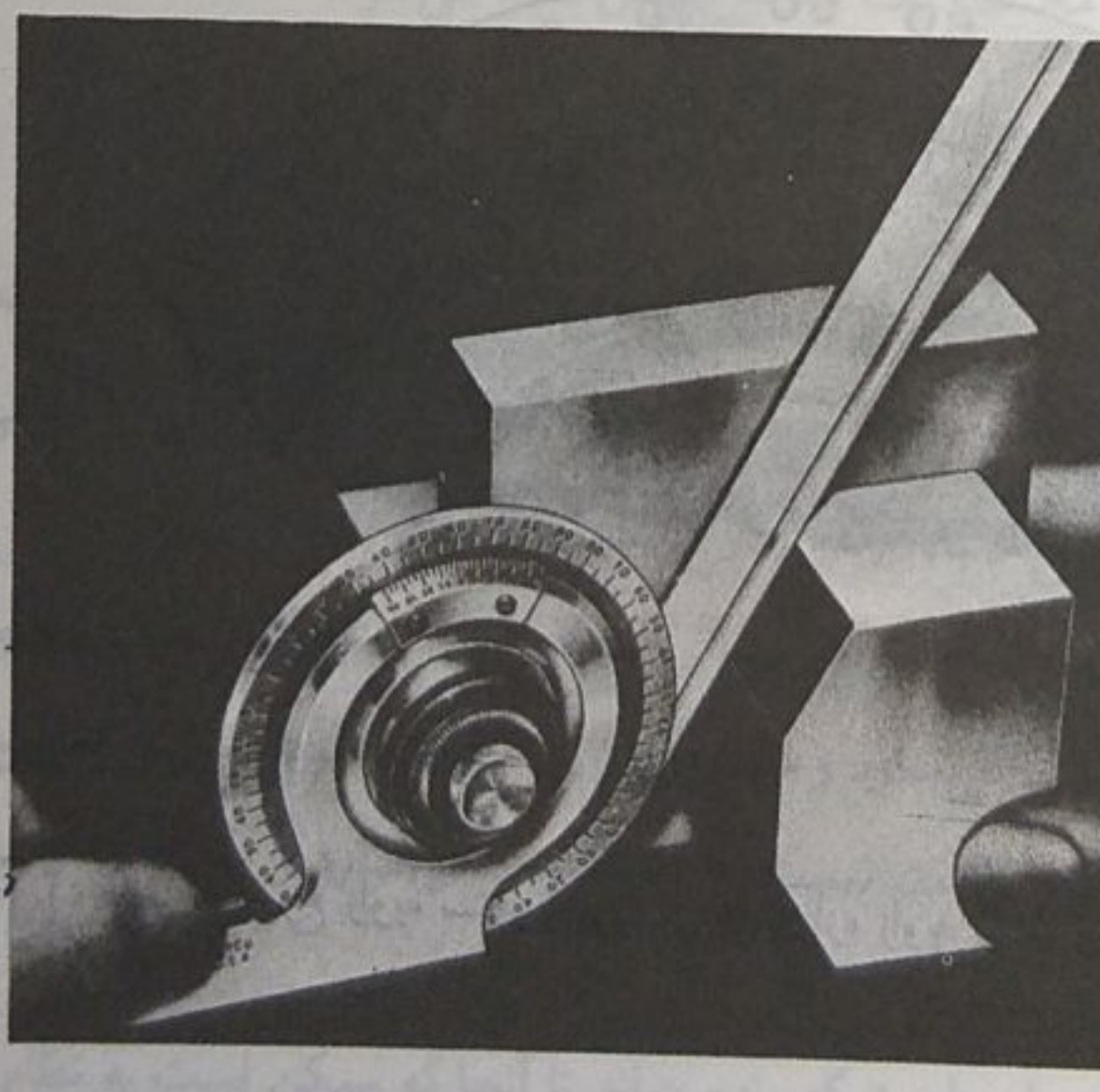
شکل۵-۱۲: اندازه‌گیری دهانه پرگار داخل سنج با میکرومتر برای محاسبه قطر داخلی



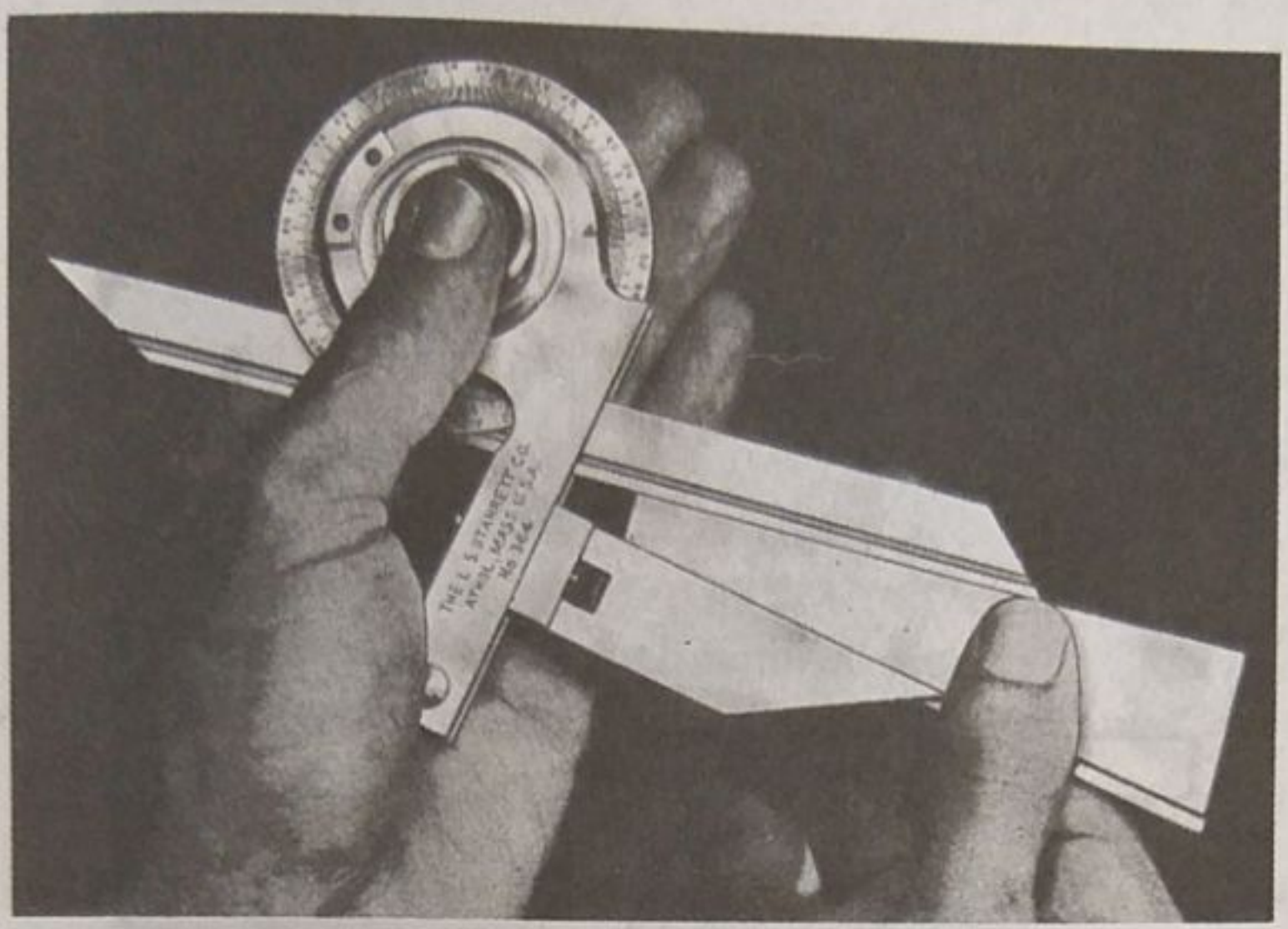
شکل۵-۱۰: قسمتهای مختلف یک گونیای **مرکب**



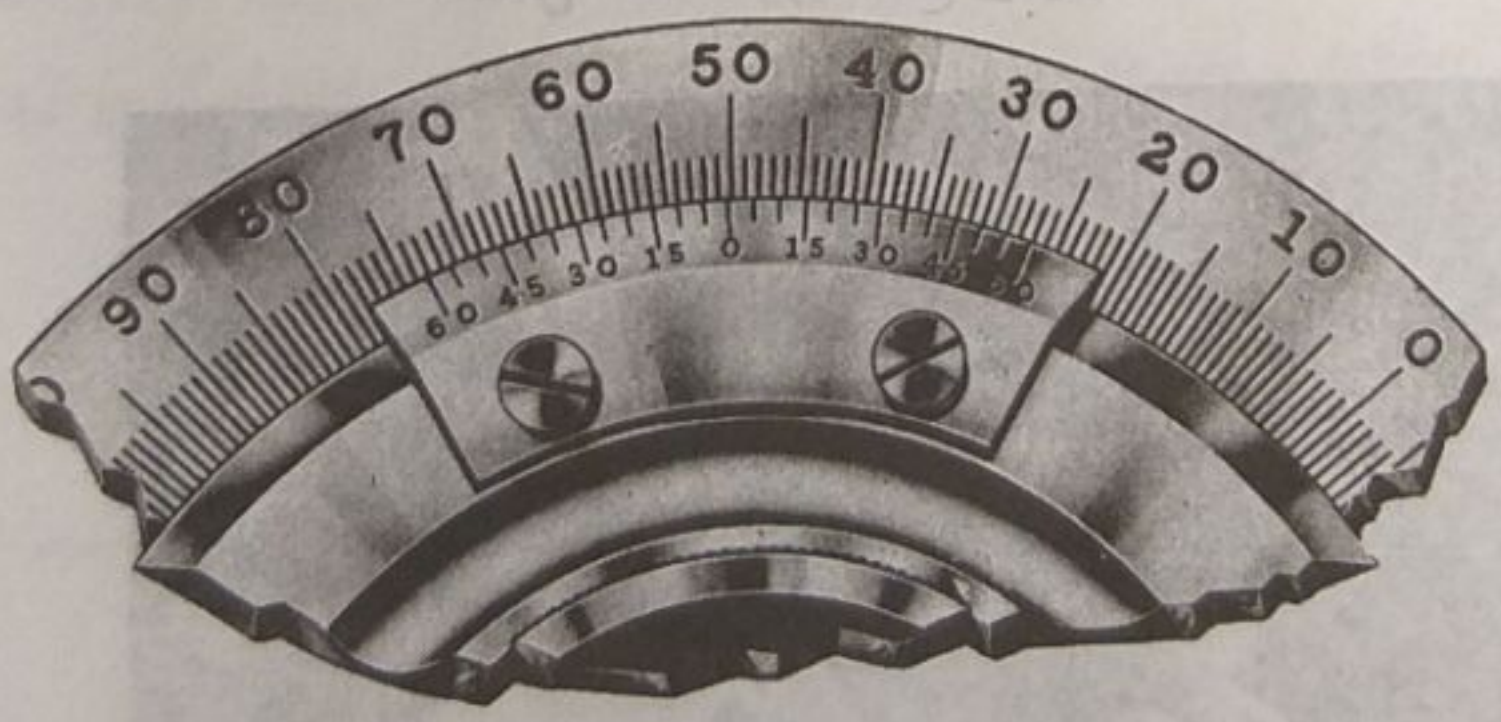
شکل۵-۱۸: زاویه سنج یونیورسال



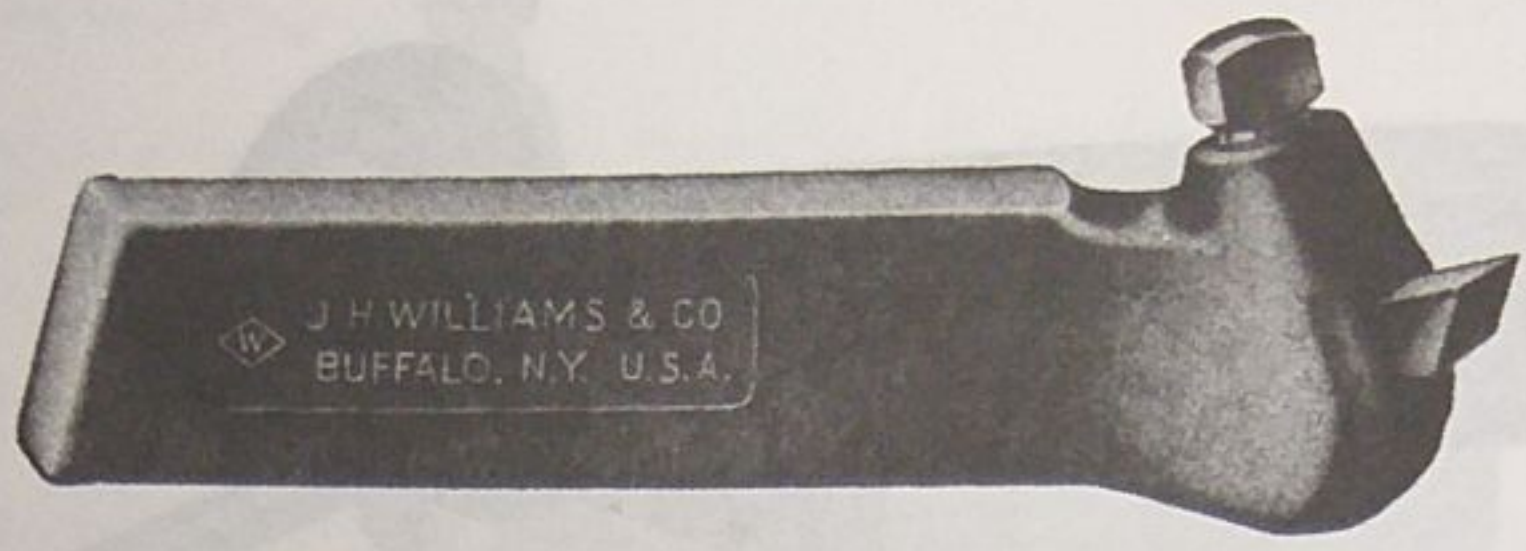
شکل۵-۱۹: اندازه‌گیری سطوح پخ‌خورده با زاویه سنج یونیورسال



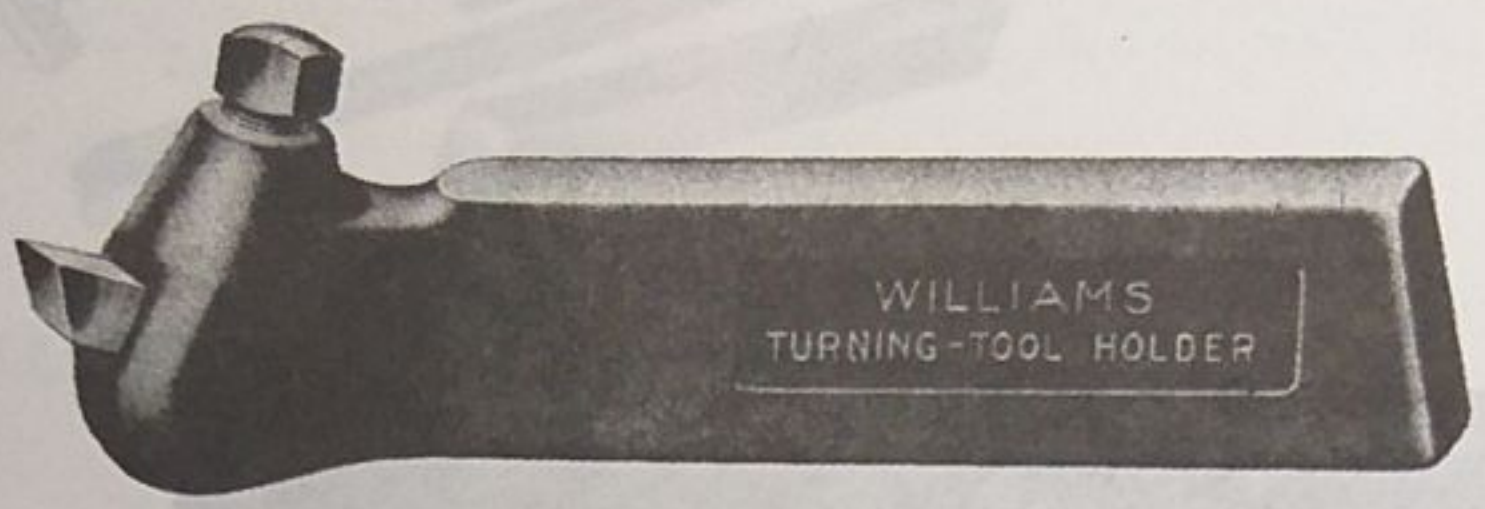
شکل۵-۲۰: اندازه‌گیری زوایای حاده با زاویه‌سنج یونیورسال



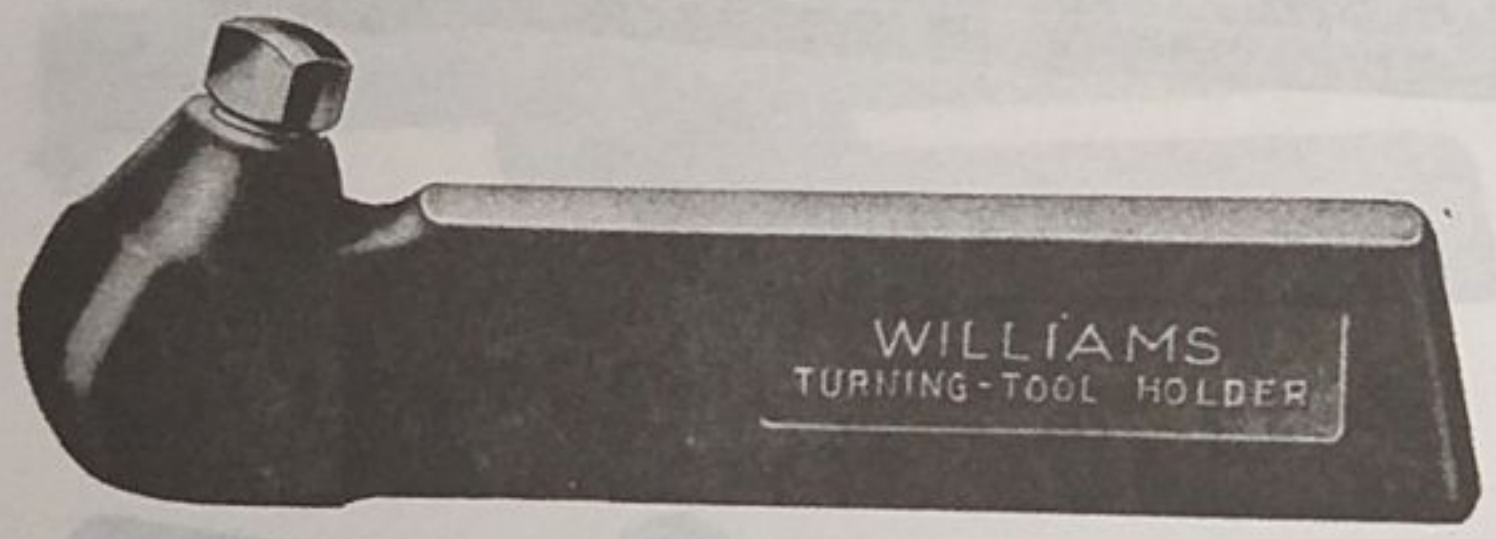
شکل۵-۲۱: صفحه مدرج زاویه سنج یونیورسال که اندازه زاویه ۵۰° و ۲۰ دقیقه را نشان می‌دهد



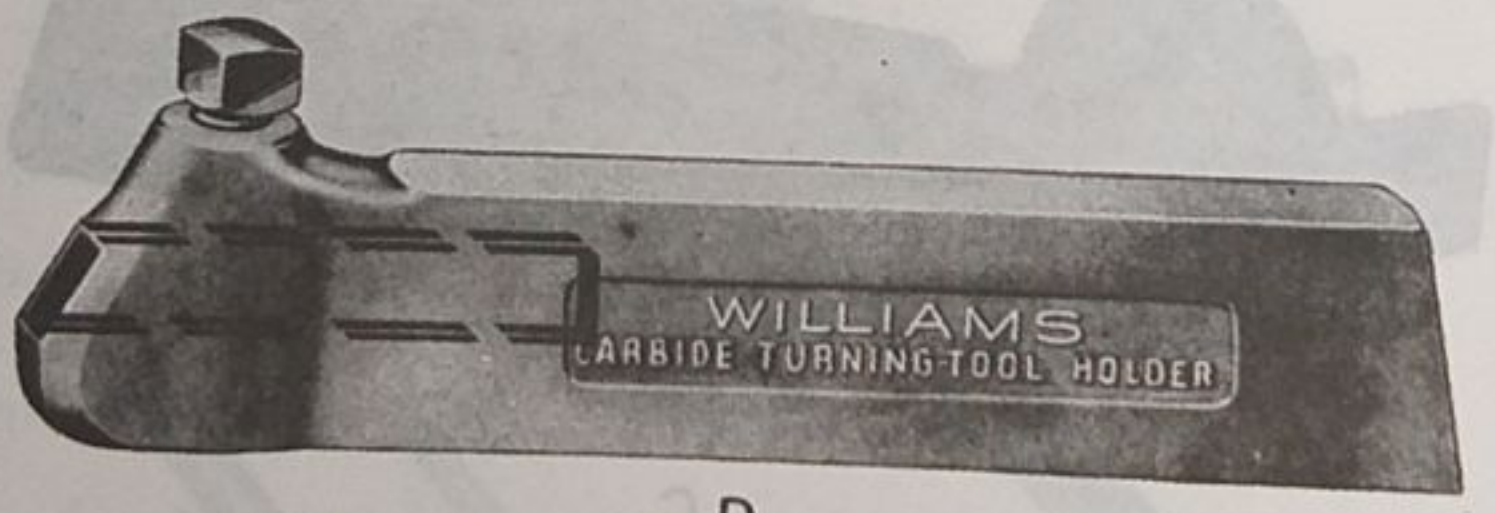
A



B



C



D

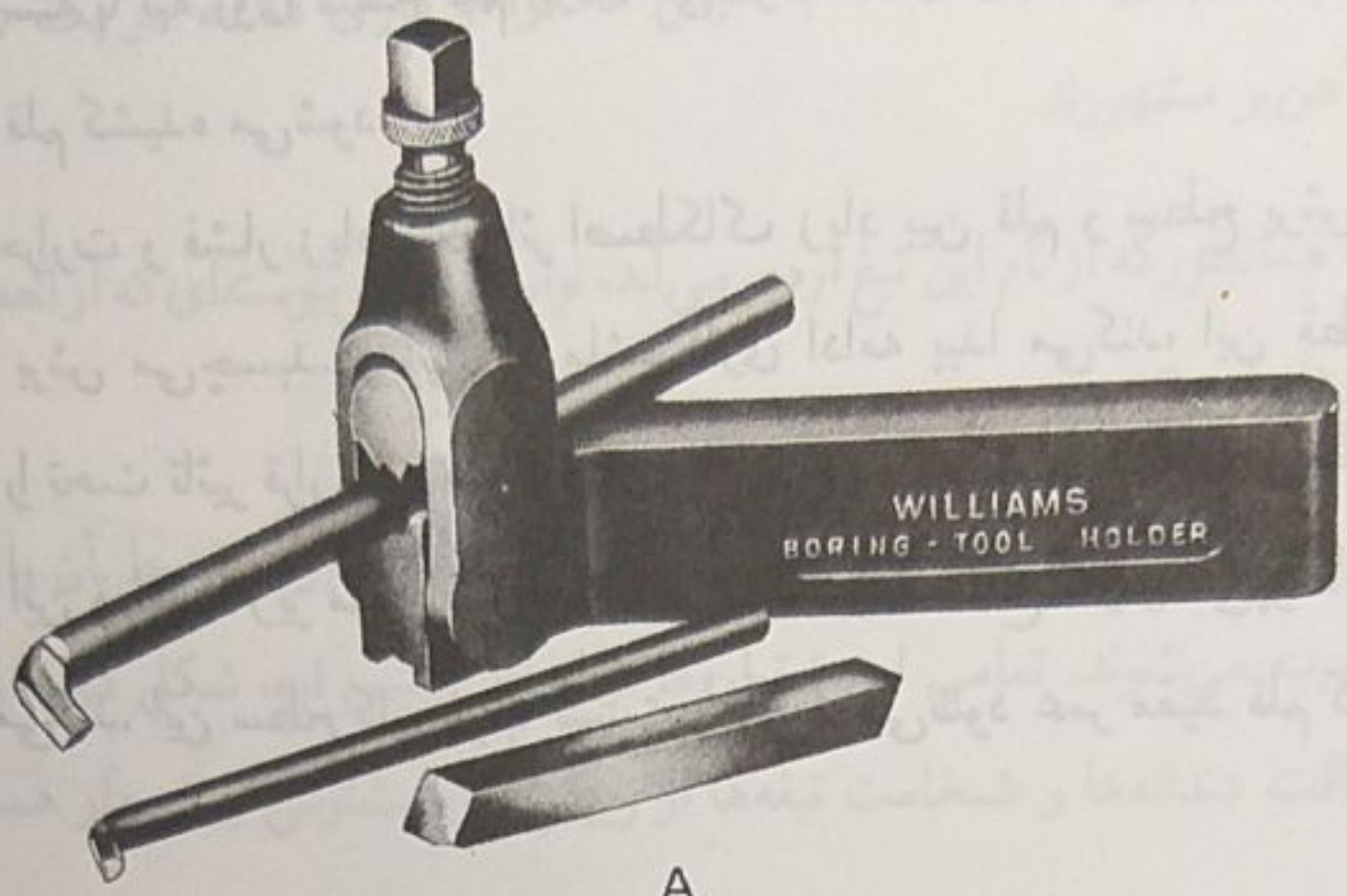
شکل۵-۲۴: انواع مختلف هولدرهای (رنده) پیشانی تراشی A. رنده چپ تراشی B. رنده راست تراشی C. مستقیم D. کاربیدی

A

B

C

شکل۵-۲۵: انواع مختلف هولدرهای برش A. چپ‌تراش B. مستقیم C. راست تراش

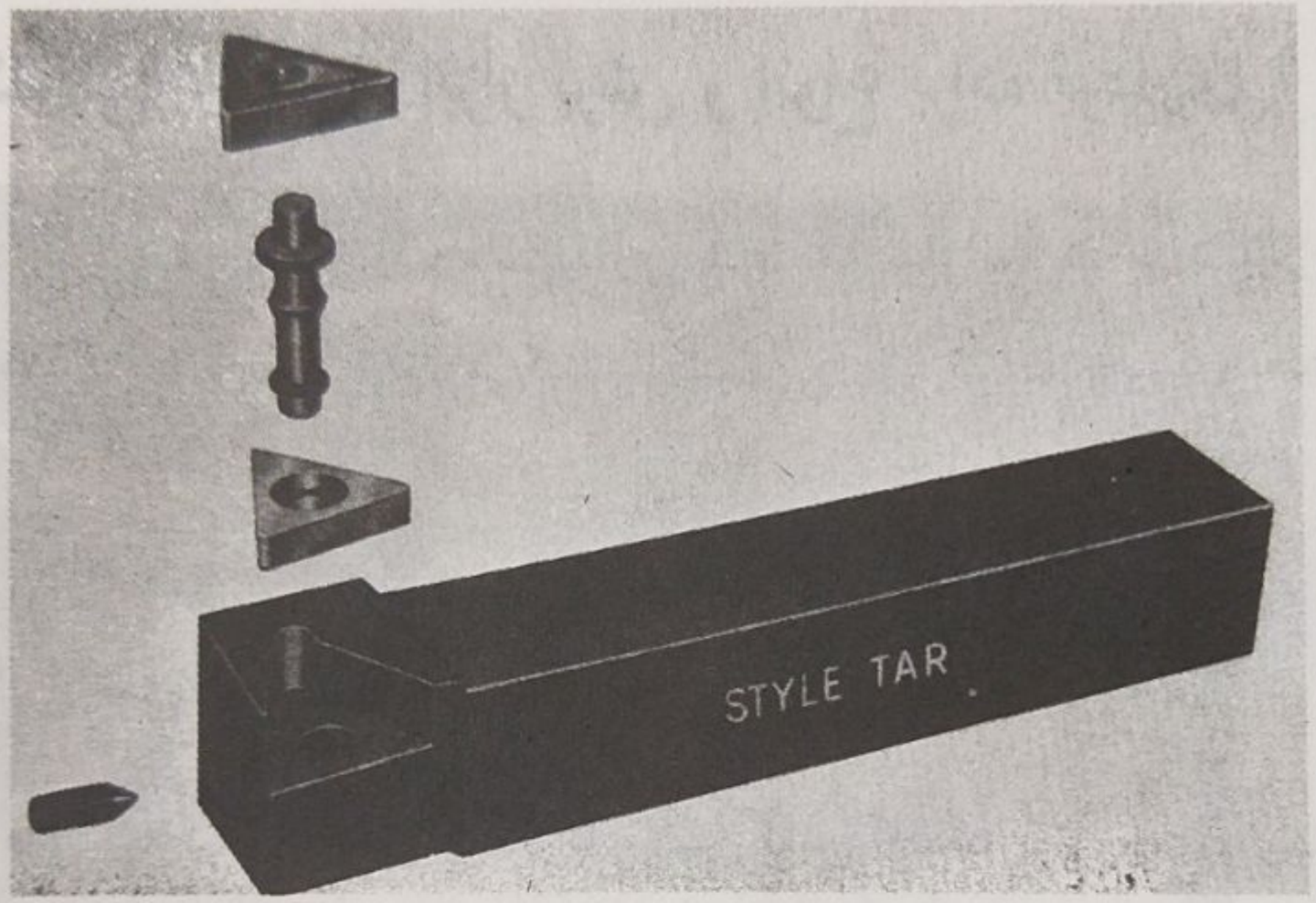


A

B

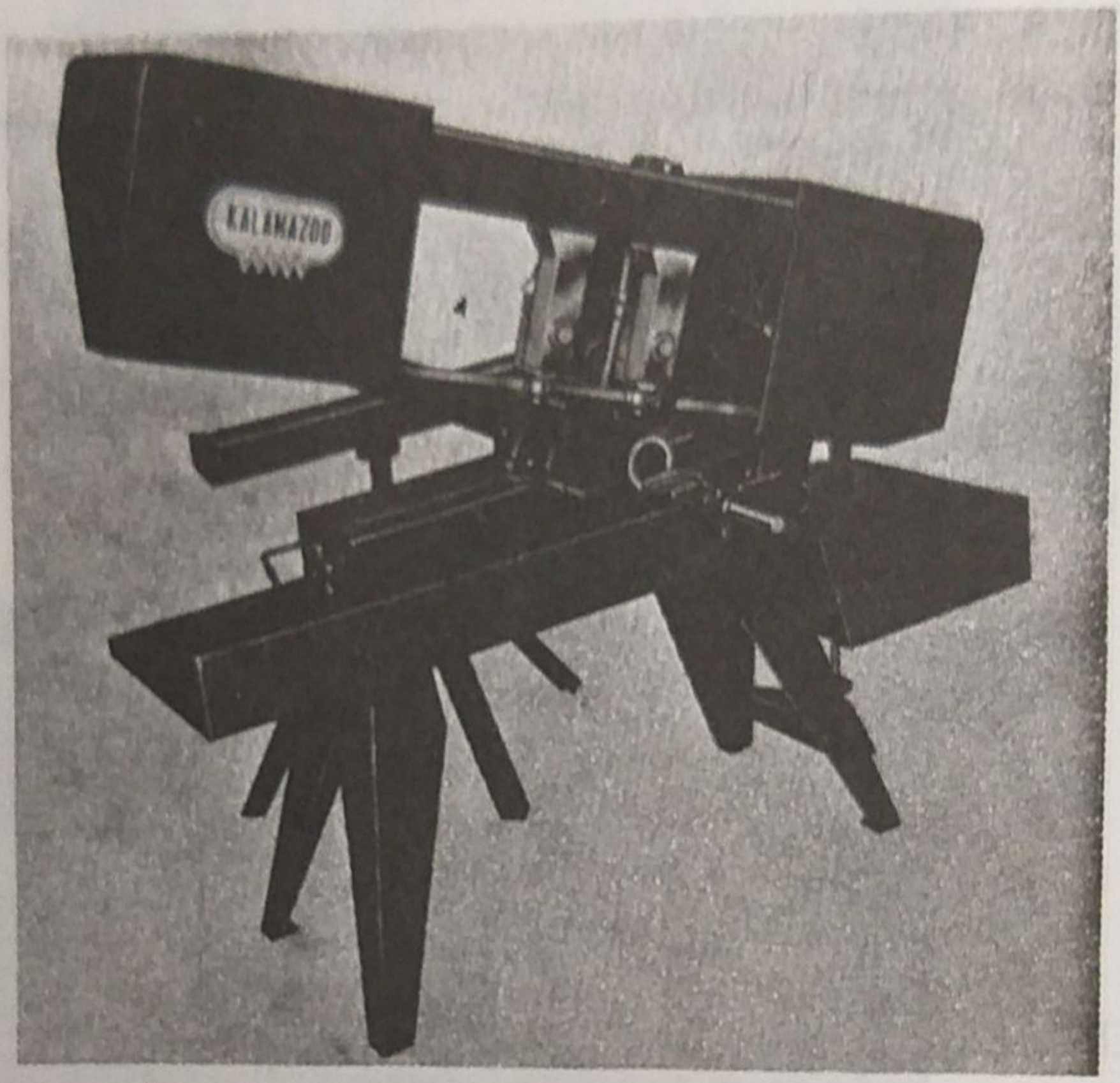
C

شکل۵-۲۶: انواع مختلف هولدرهای داخل تراشی A. رنده داخل تراش برای کارهای سبک B. رنده داخل تراش برای کارهای متوسط C. ابزار داخل تراشی برای کارهای سنگین

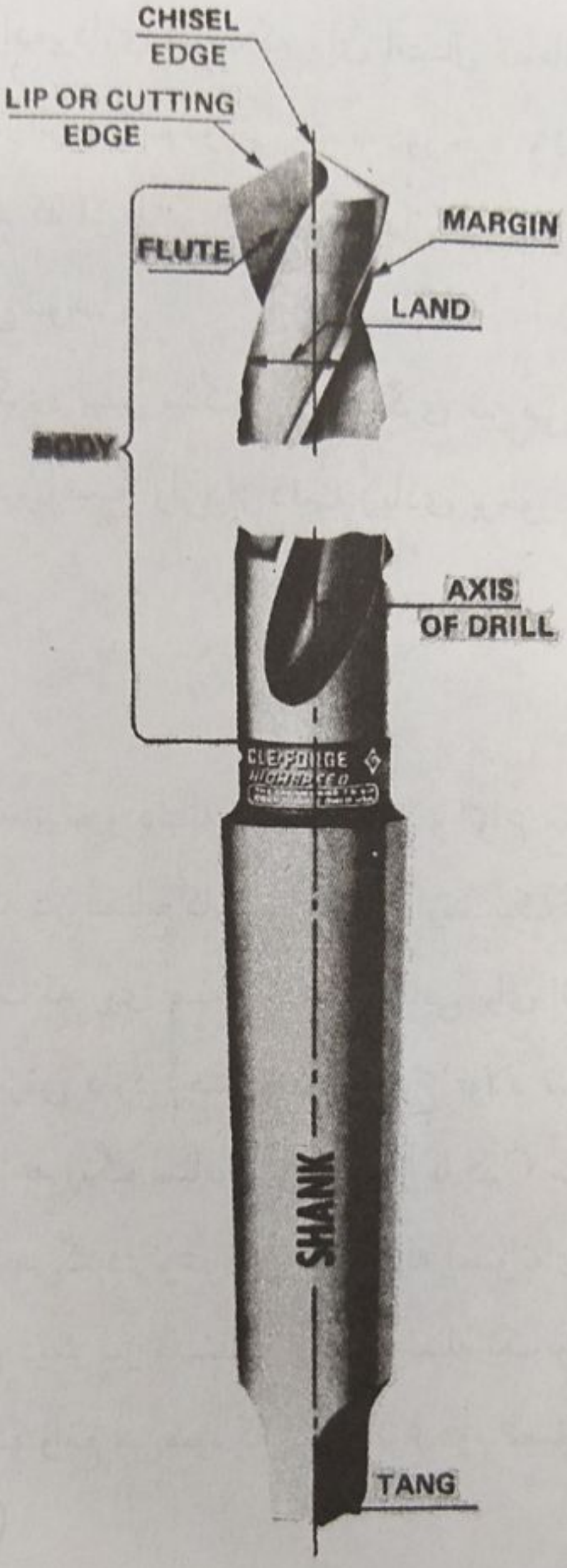


شکل۵-۲۲: چگونگی قرارگرفتن قسمتهای مختلف یک تیغچه را روی یک هولدر نمایش می‌دهد. الف- پایه، ب- لبه برنده، ج- روی ابزار که براده روی آن می‌لغزد، د- شعاع دماغه، هـ بدنه ابزار، و- نوک ابزار، ز- پهلوی قلم که با سطح زیرین در جلوی ابزار تماس دارد، ح- نوک یا دماغه ابزار که از محل برخورد مسطح جلویی تیغه و لبه برنده حاصل می‌شود.

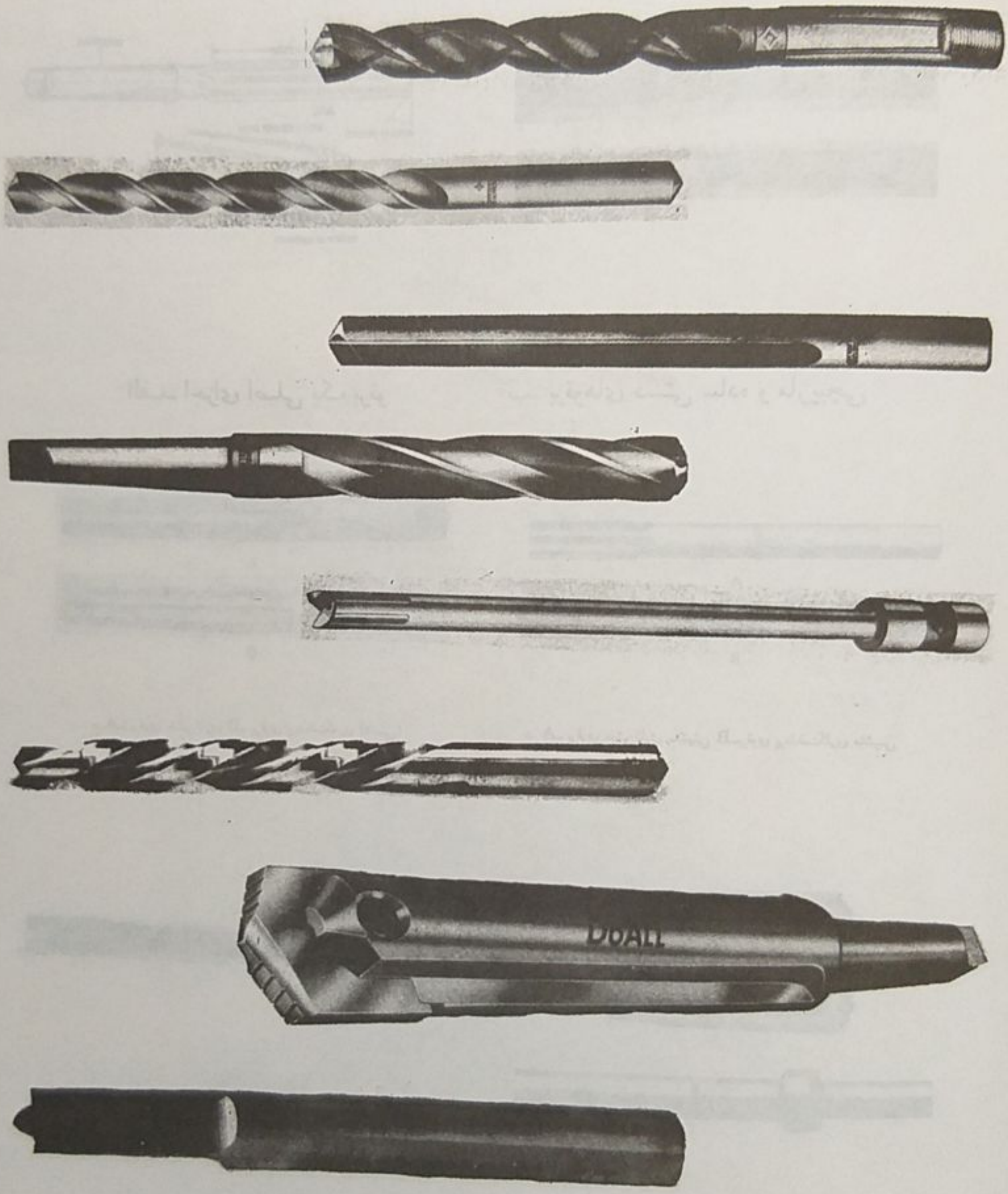
شکل۵-۲۷: شکلهای مختلف دندانه در تیغ اره نواری



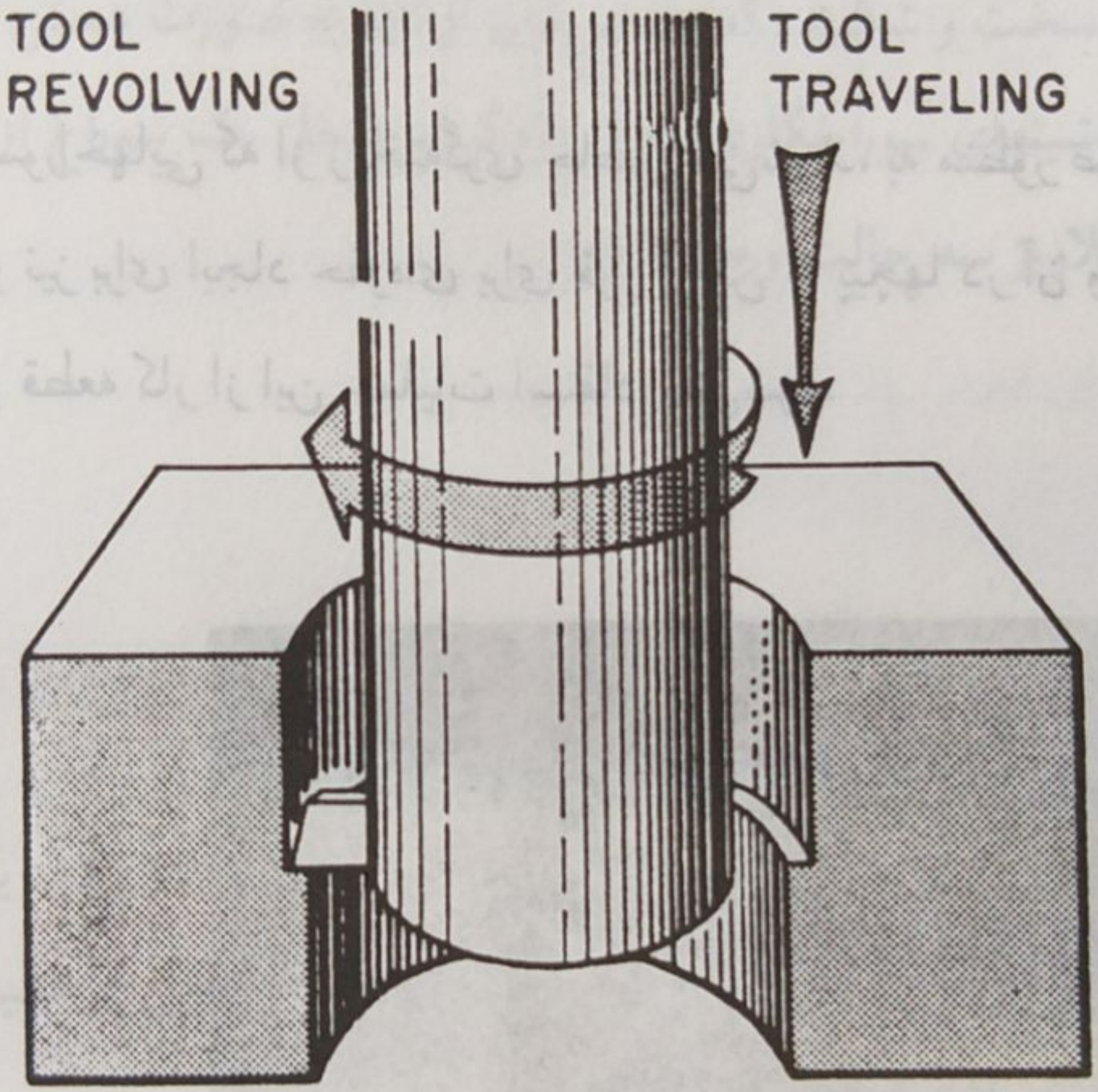
شکل۵-۲۹: اره لنگ افقی



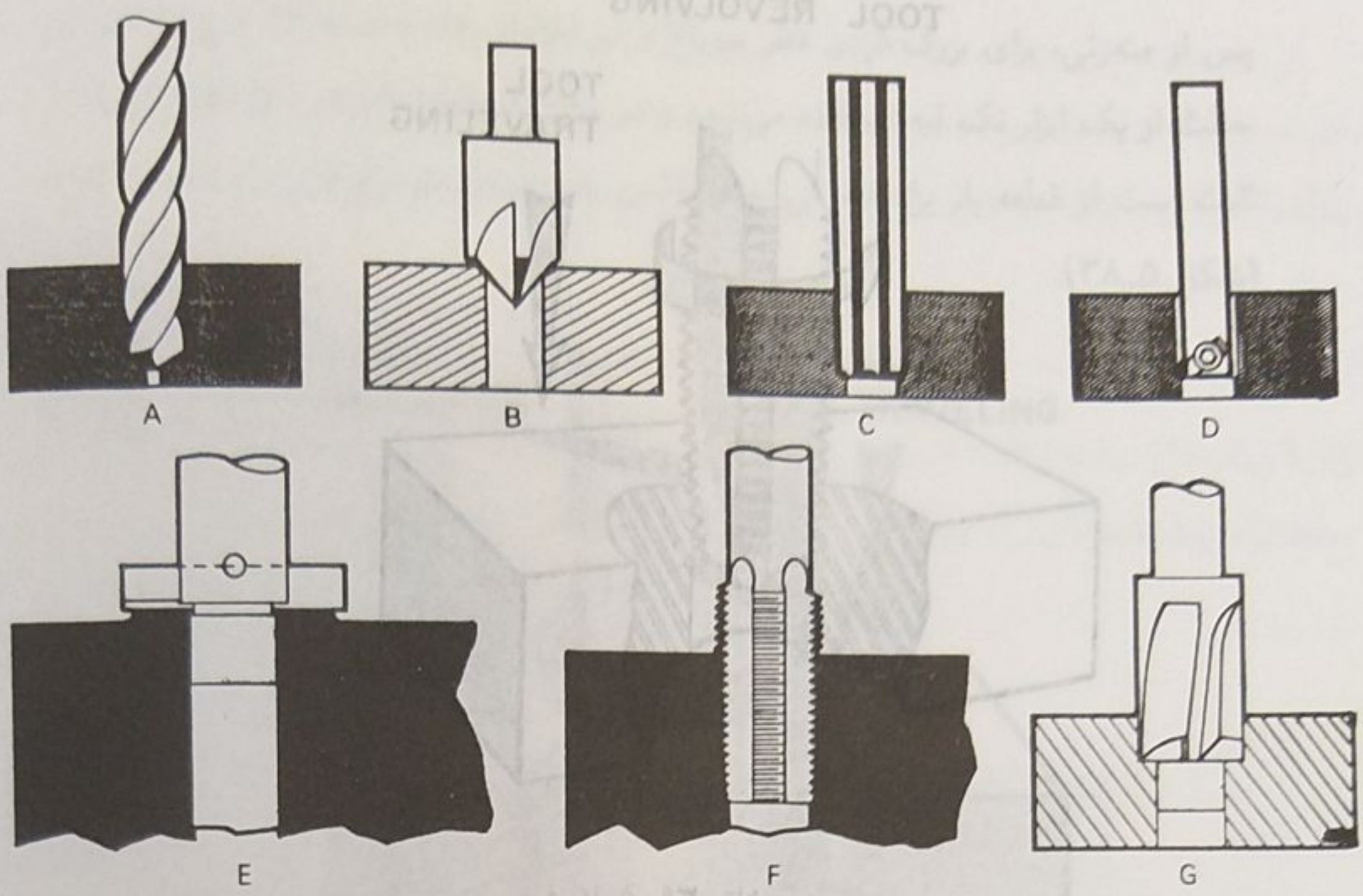
شکل۵-۳۱: قسمتهای مهم یک مته مارپیچی



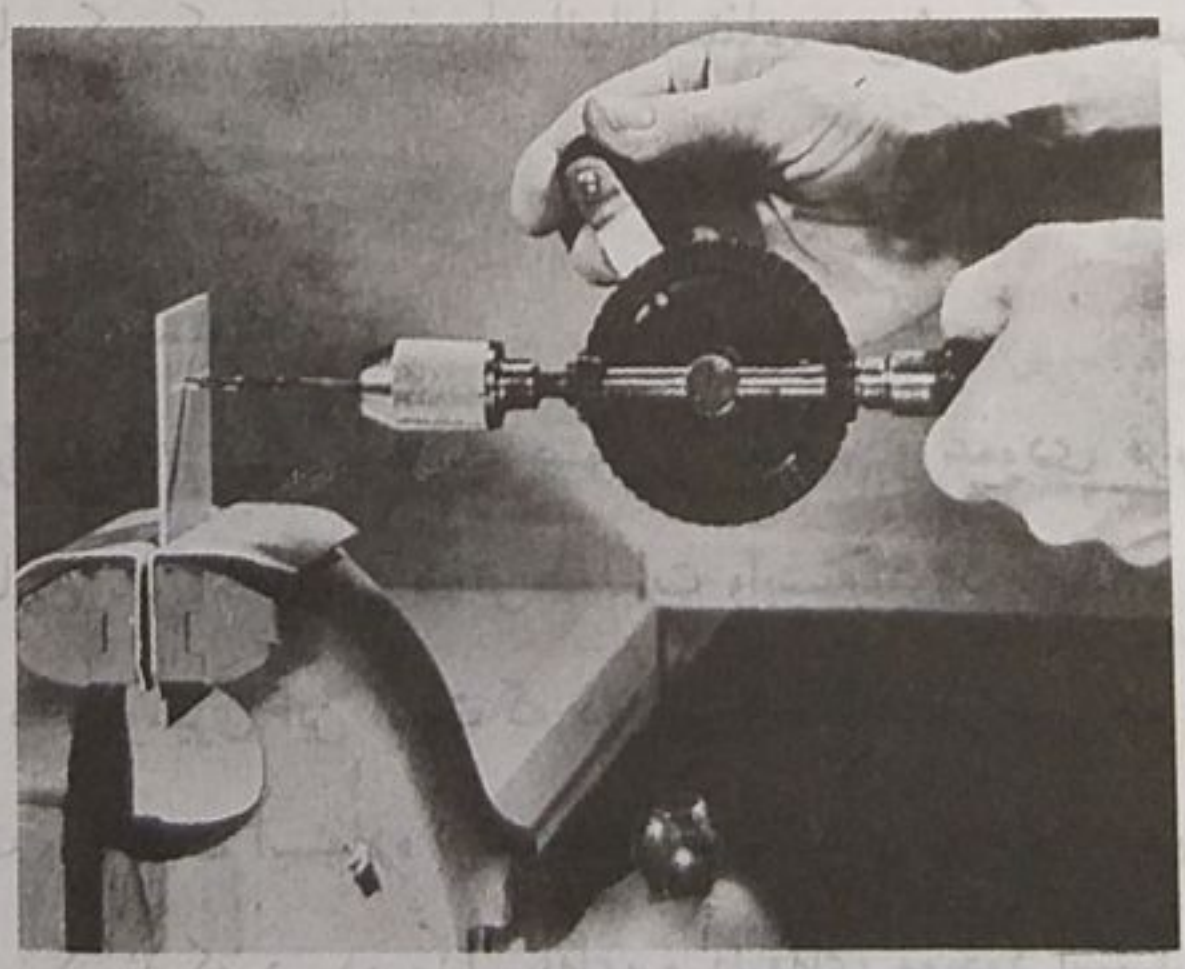
شکل۵-۳۲: انواع مته‌های سوراخکاری



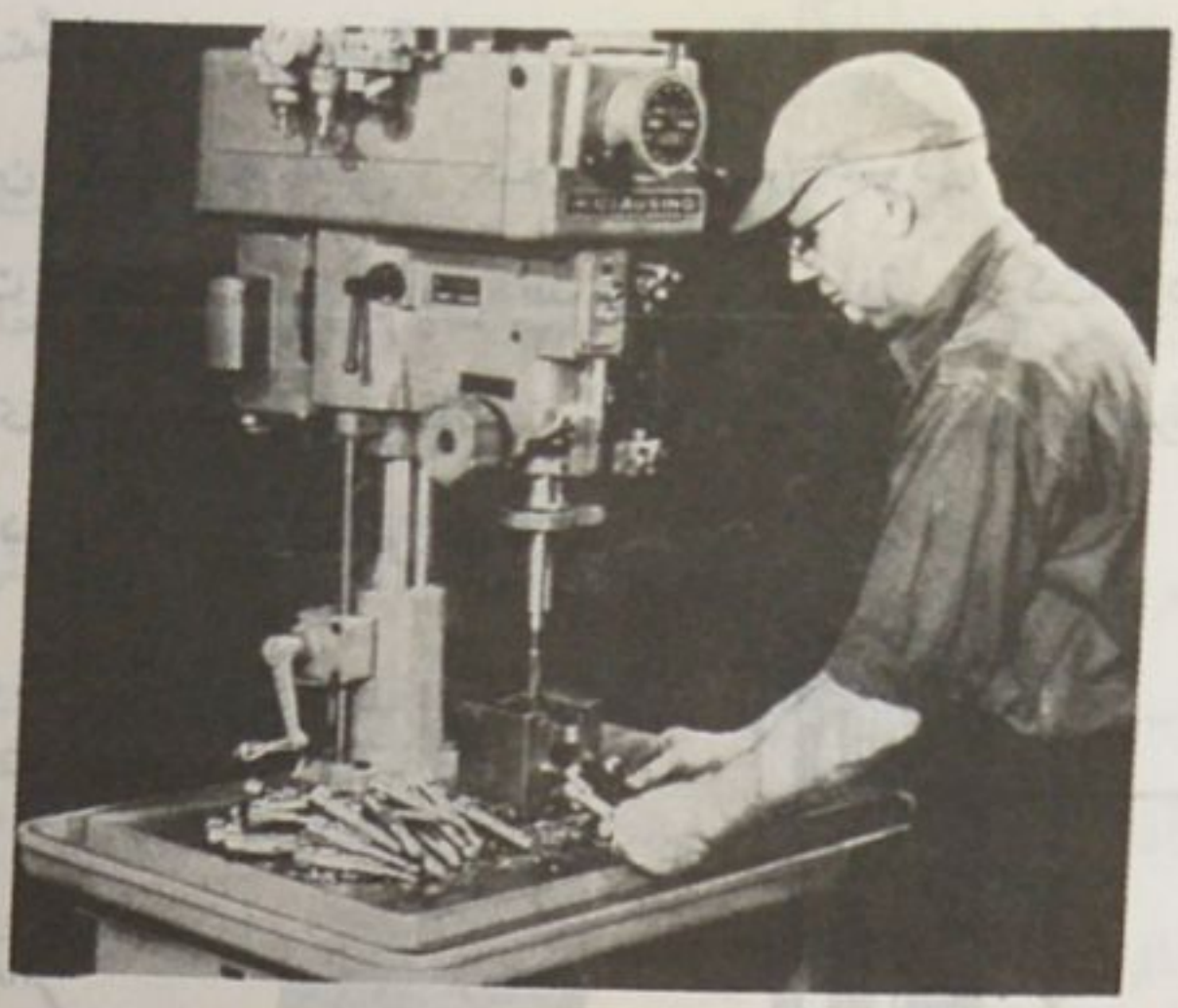
شکل۵-۳۸: حفاری عمودی



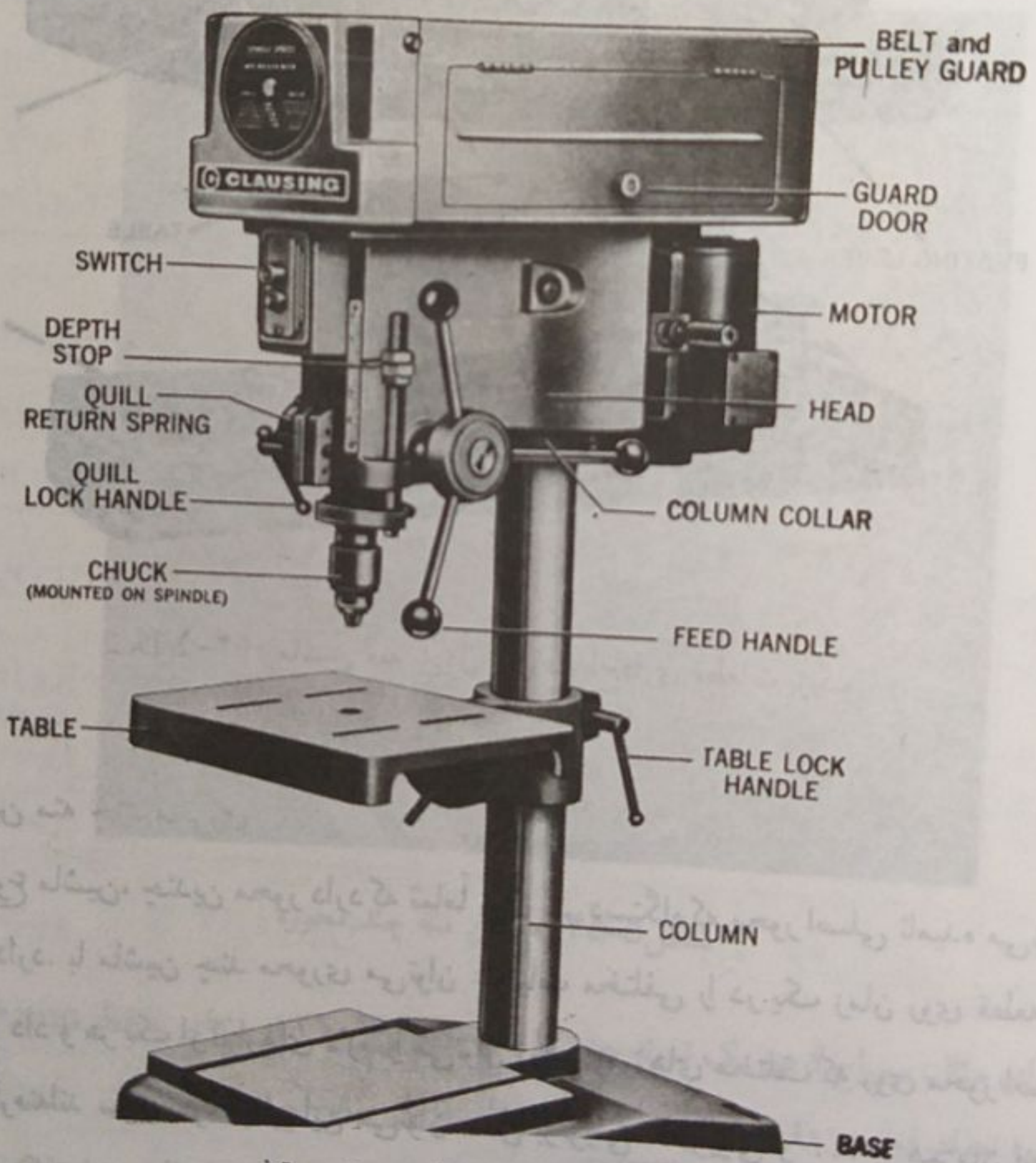
شکل۵-۴۰: عملیات مختلف سوراخکاری A. مته‌کاری- B. خزینه‌کاری- C. برقوزنی- D. حفاری (بورنیگ)-E. ایجاد سوراخهای چهارگوش-F. قلاویزنی-G. خزینه‌دار کردن یا ایجاد حفره چهارگوش برای قرار گرفتن دنباله پیچ



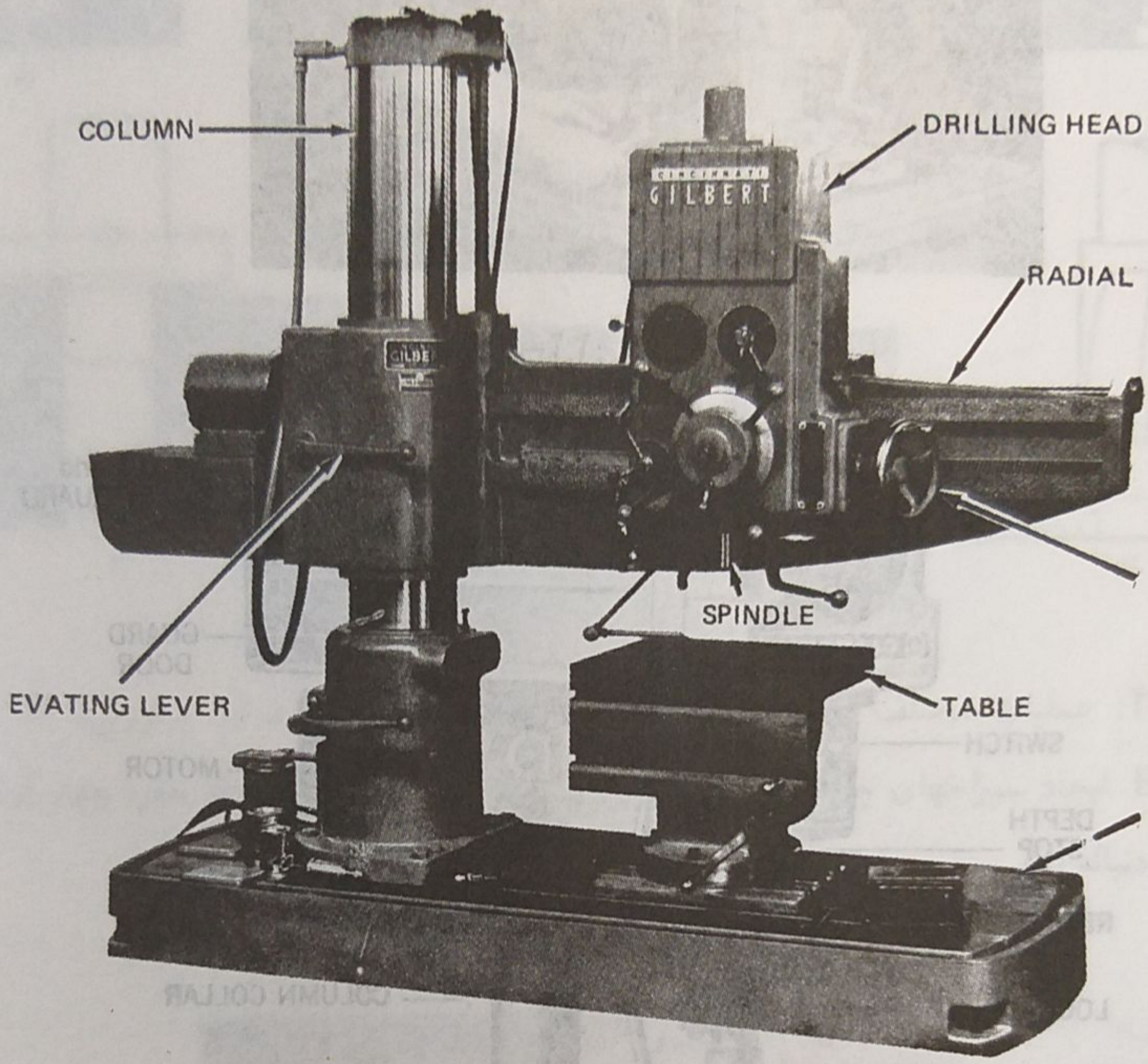
شکل۵-۴۱: ماشین مته‌دستی



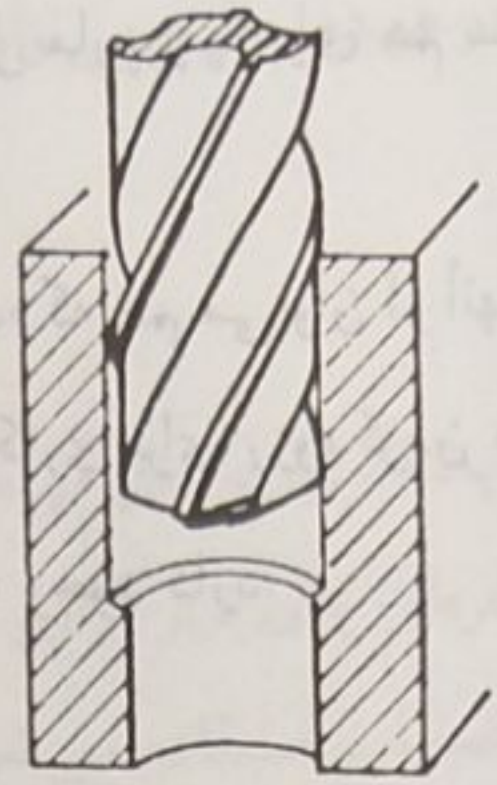
شکل۵-۴۲: ماشین مته‌رومیزی



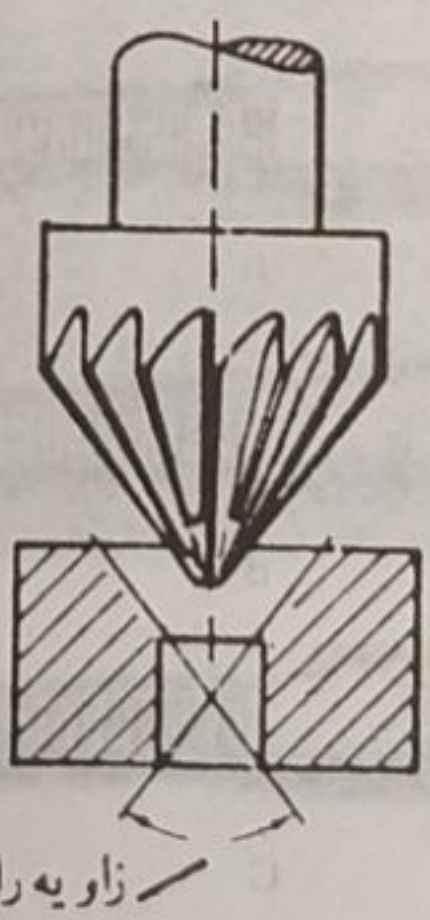
شکل۵-۴۳: اجزای ماشین دریل عمودی ستونی



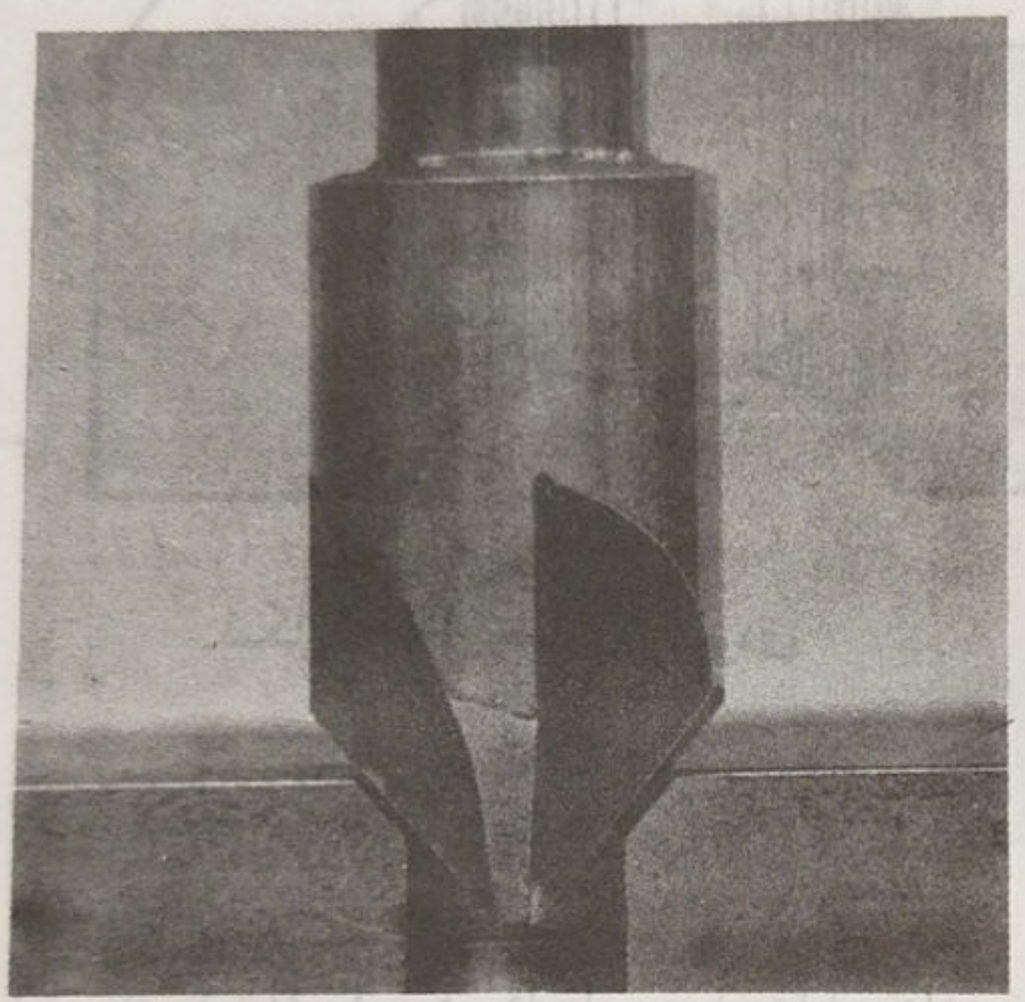
شکل۵-۴۴: ماشین مته رادیال برای سوراخ‌کاری قطعات بزرگ



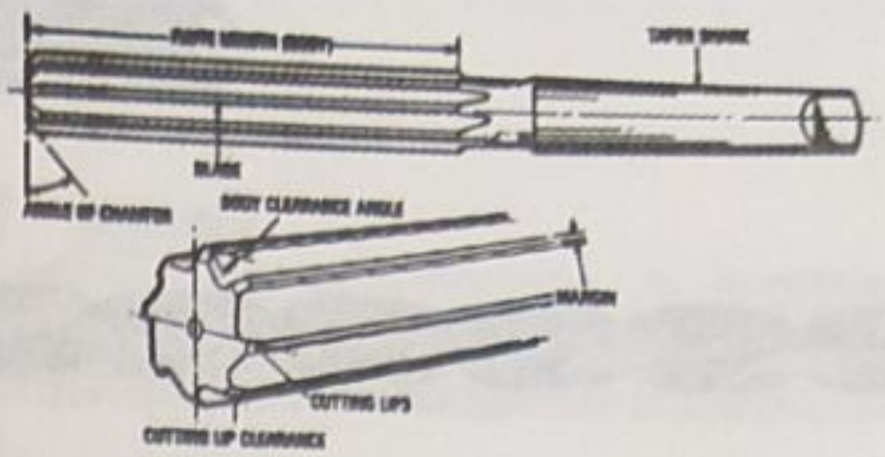
شکل۵-۳۴: خزینه‌کاری با مته خزینه



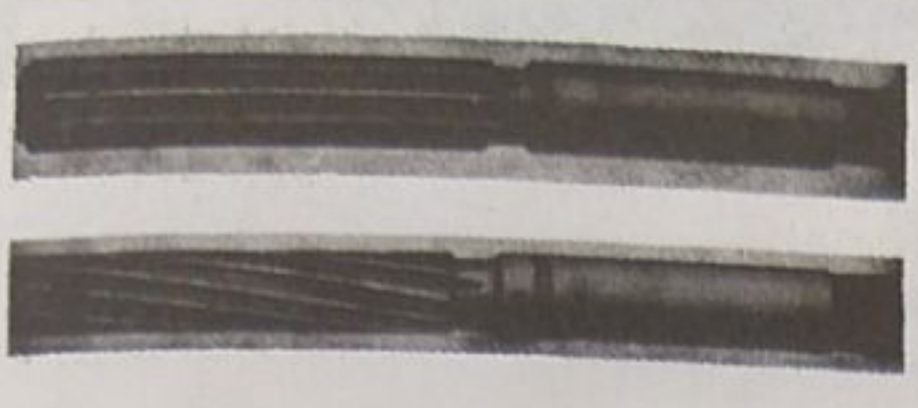
شکل۵-۳۵: خزینه‌کاری با خزینه مخروطی



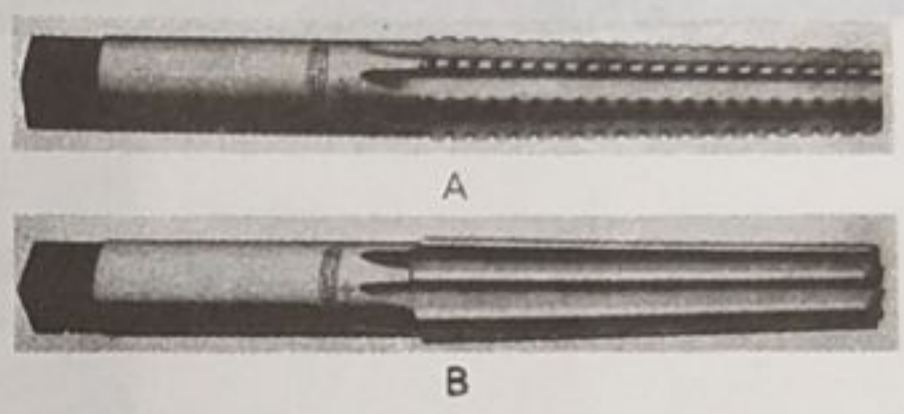
شکل۵-۳۷: عملیات خزینه‌کاری برای ایجاد حفره برای قرار گرفتن انتهای پیچ و هم سطح شدن با سطح کار



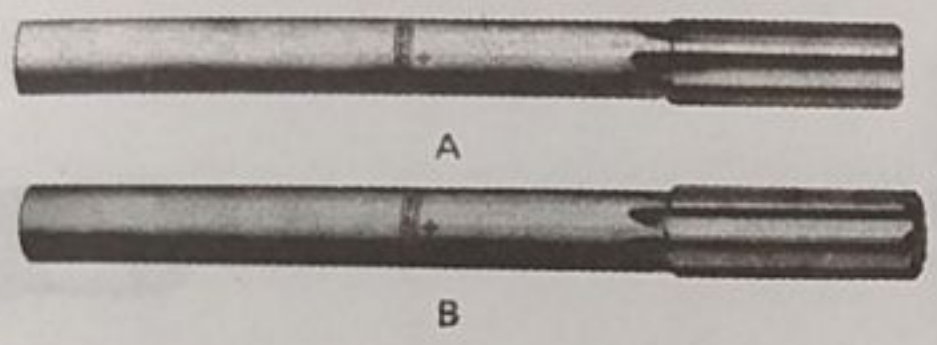
الفـ اجزای اصلی یک برقو



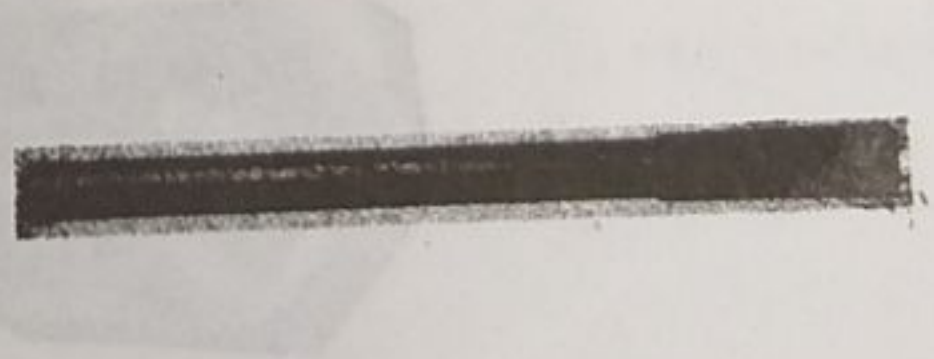
ب- برقوهای دستی ساده و مارپیچی



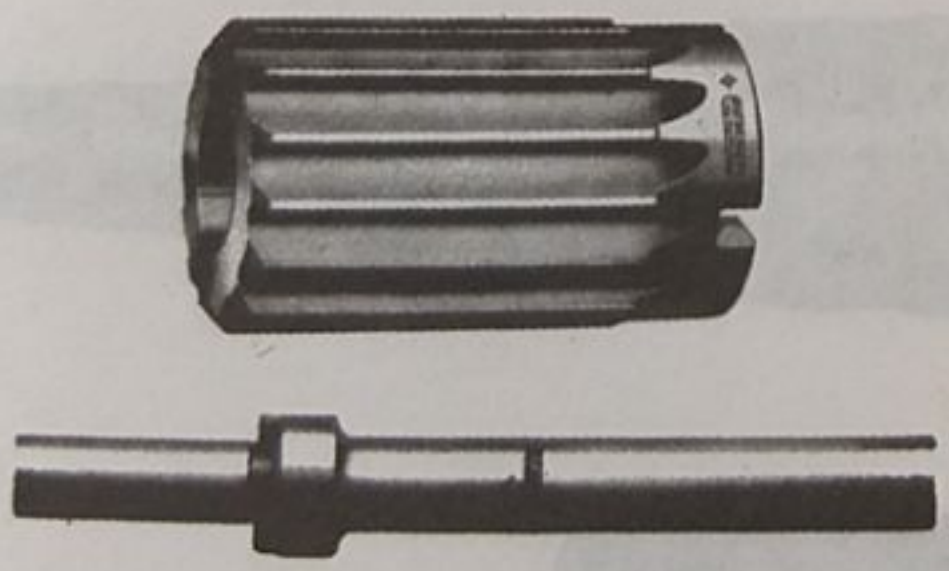
ج.A- برقوی خشن‌کاری B- برقوی پرداخت‌کاری (دستی)



د. A- برقوی خشن‌کاری ماشینی .B-برقوی پرداخت‌کاری ماشینی

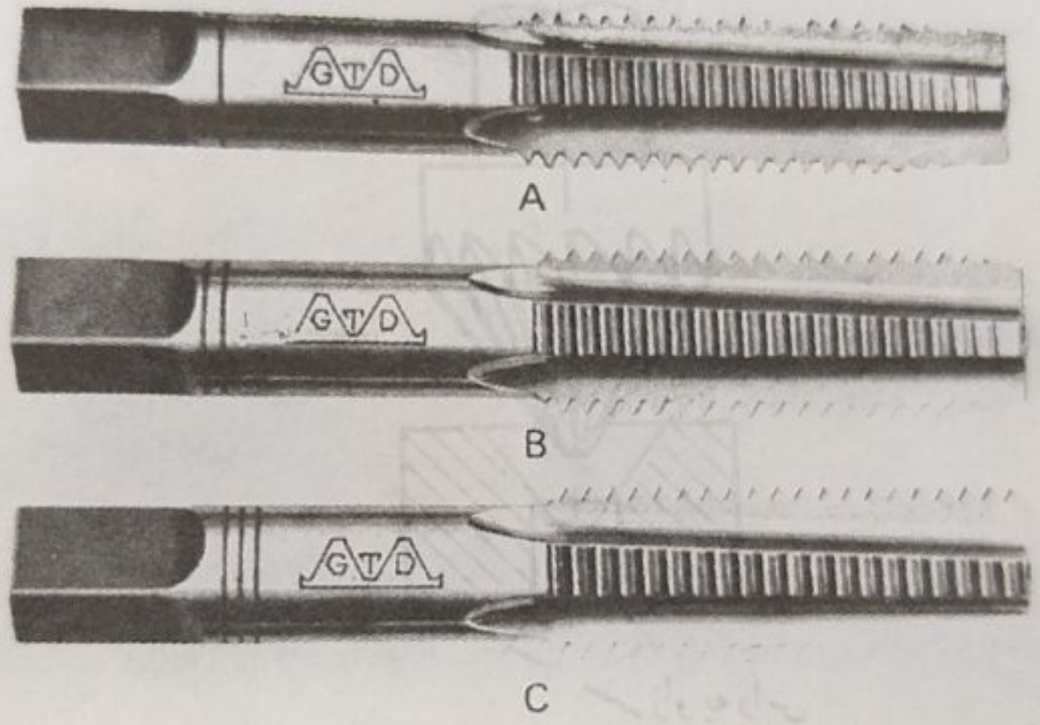


هـ برقو با سرکاربیدی

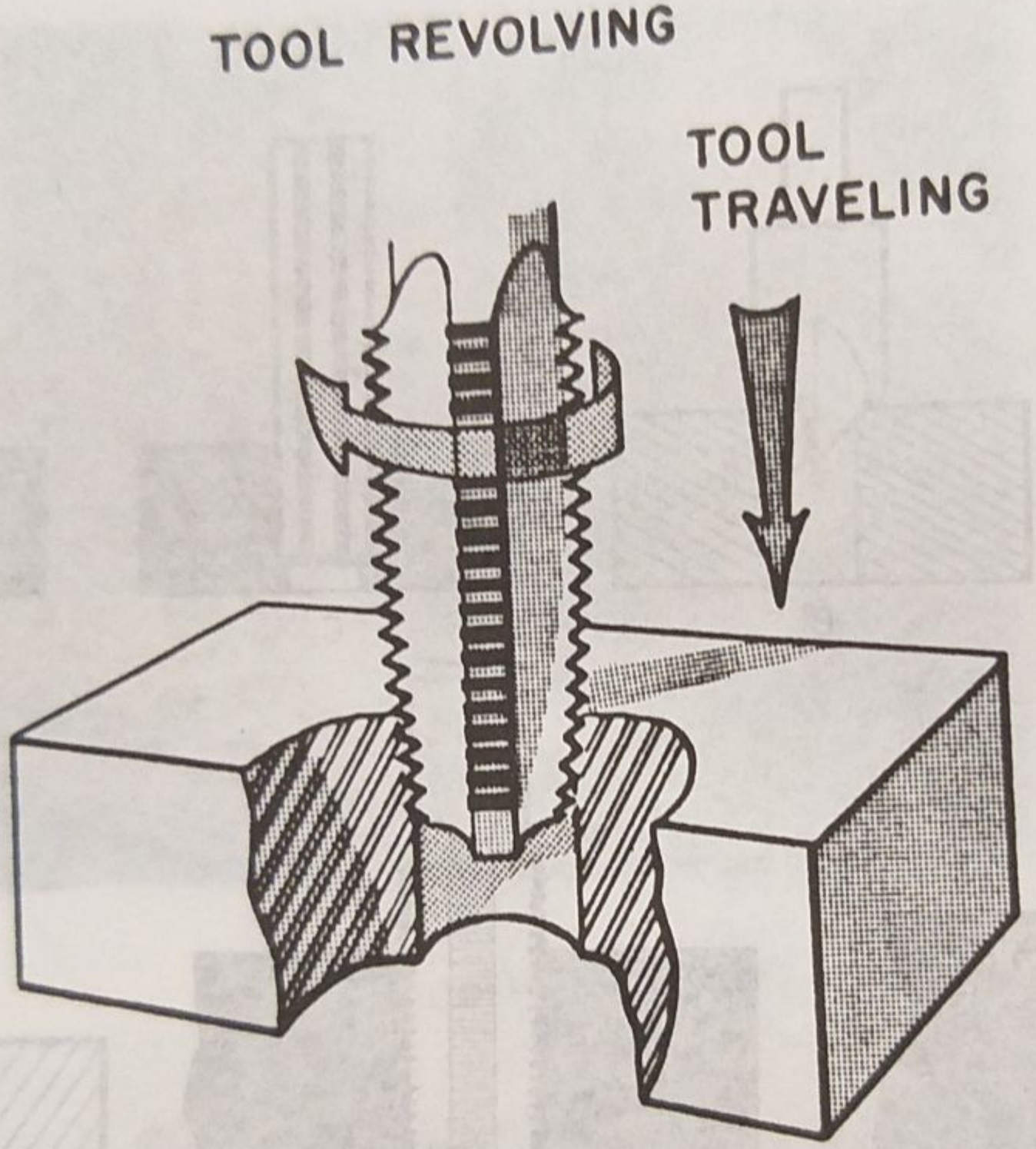


وـ برقوهای پوسته‌ای برای سوراخکاری

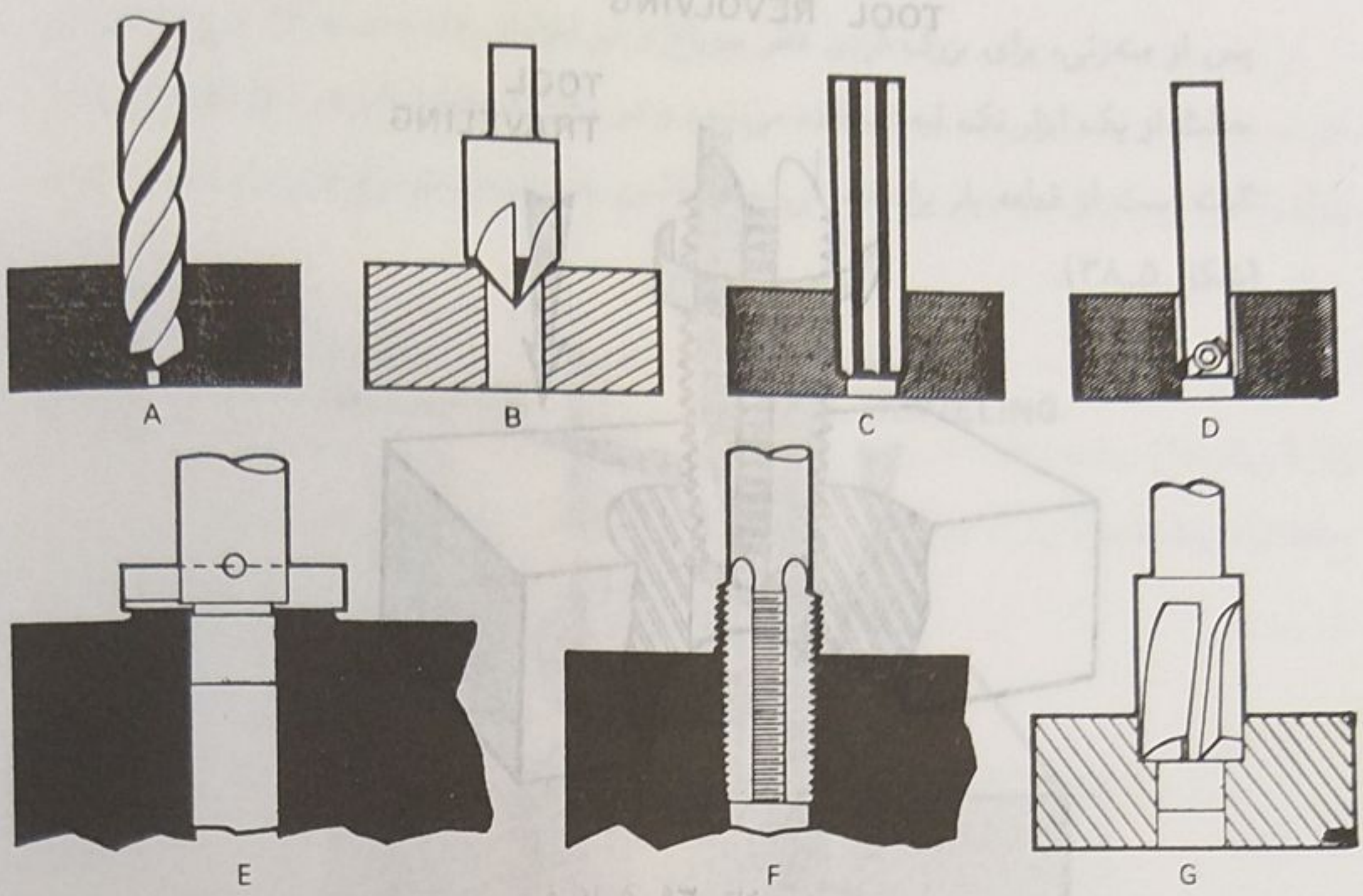
شکل۵-۳۳: انـواع برقـوها



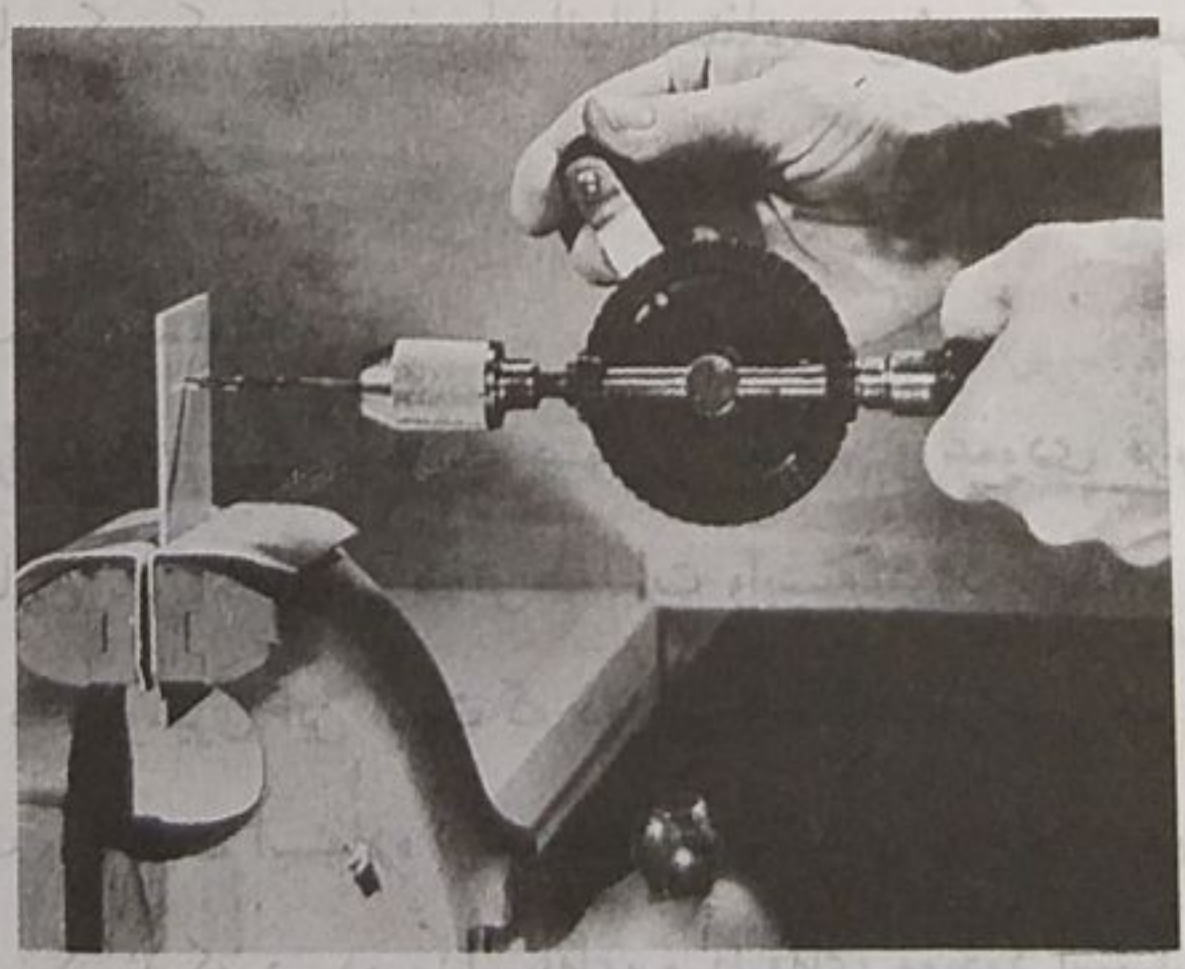
شکل۵-۳۶: مجموعه قلاویز دستی



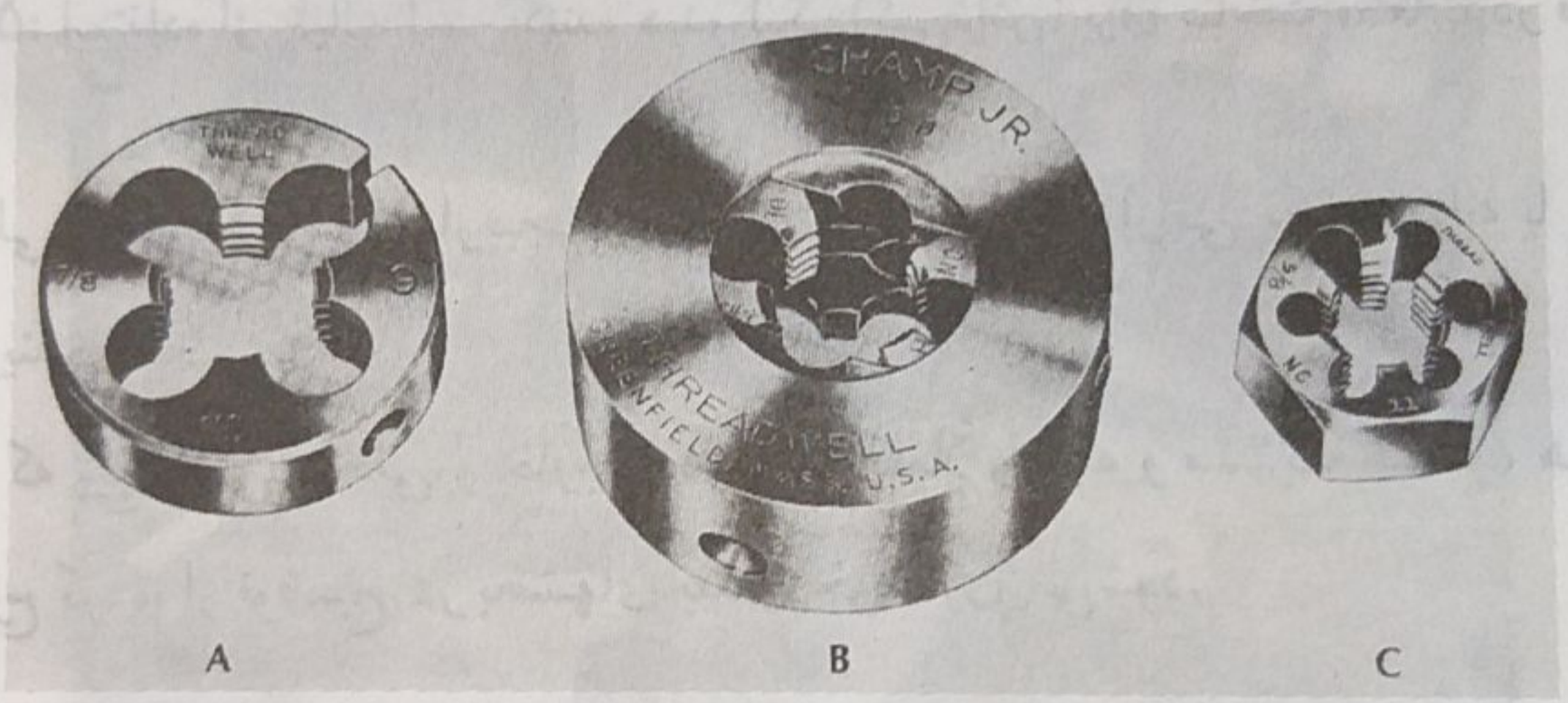
شکل۵-۳۹: قلاویززنی



شکل۵-۴۰: عملیات مختلف سوراخکاری A. مته‌کاری- B. خزینه‌کاری- C. برقوزنی- D. حفاری (بورنیگ)-E. ایجاد سوراخهای چهارگوش-F. قلاویزنی-G. خزینه‌دار کردن یا ایجاد حفره چهارگوش برای قرار گرفتن دنباله پیچ

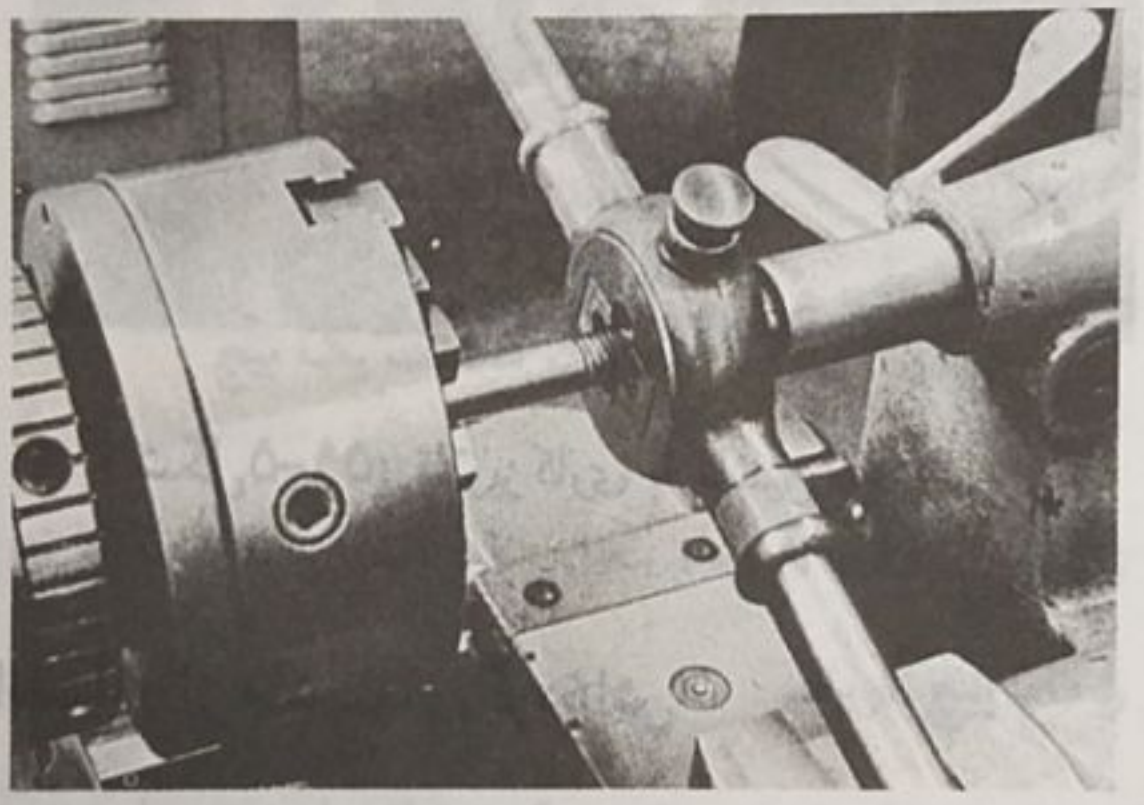


شکل۵-۴۱: ماشین مته‌دستی

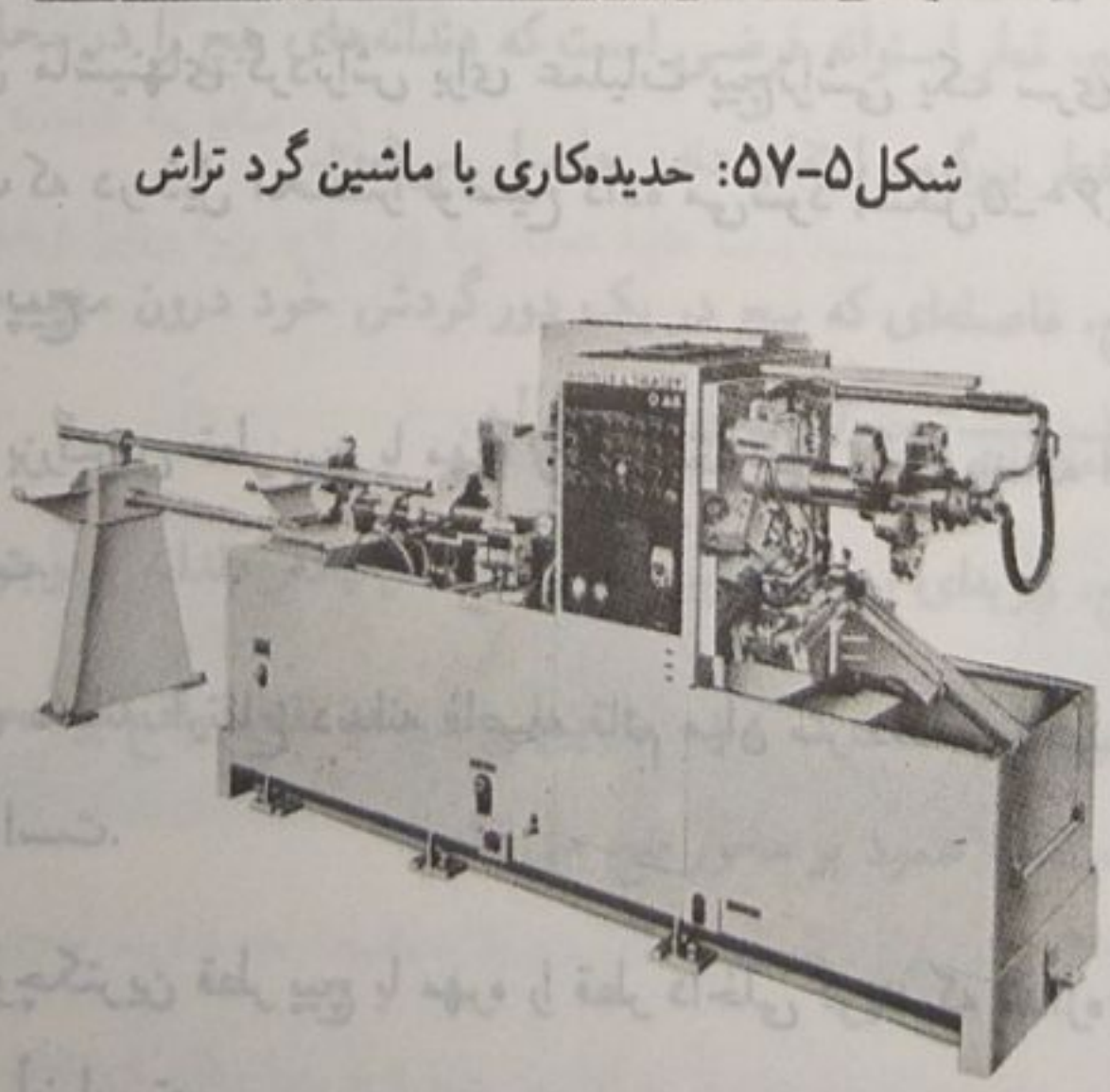


شکل۵-۵۵: انواع مختلف حدیده‌ها A.حدیده‌شکافی قابل تنظیم B. حدیده دو قطعه‌ایی قابل تنظیم C.حدیده شیار ایجاد کننده قوی

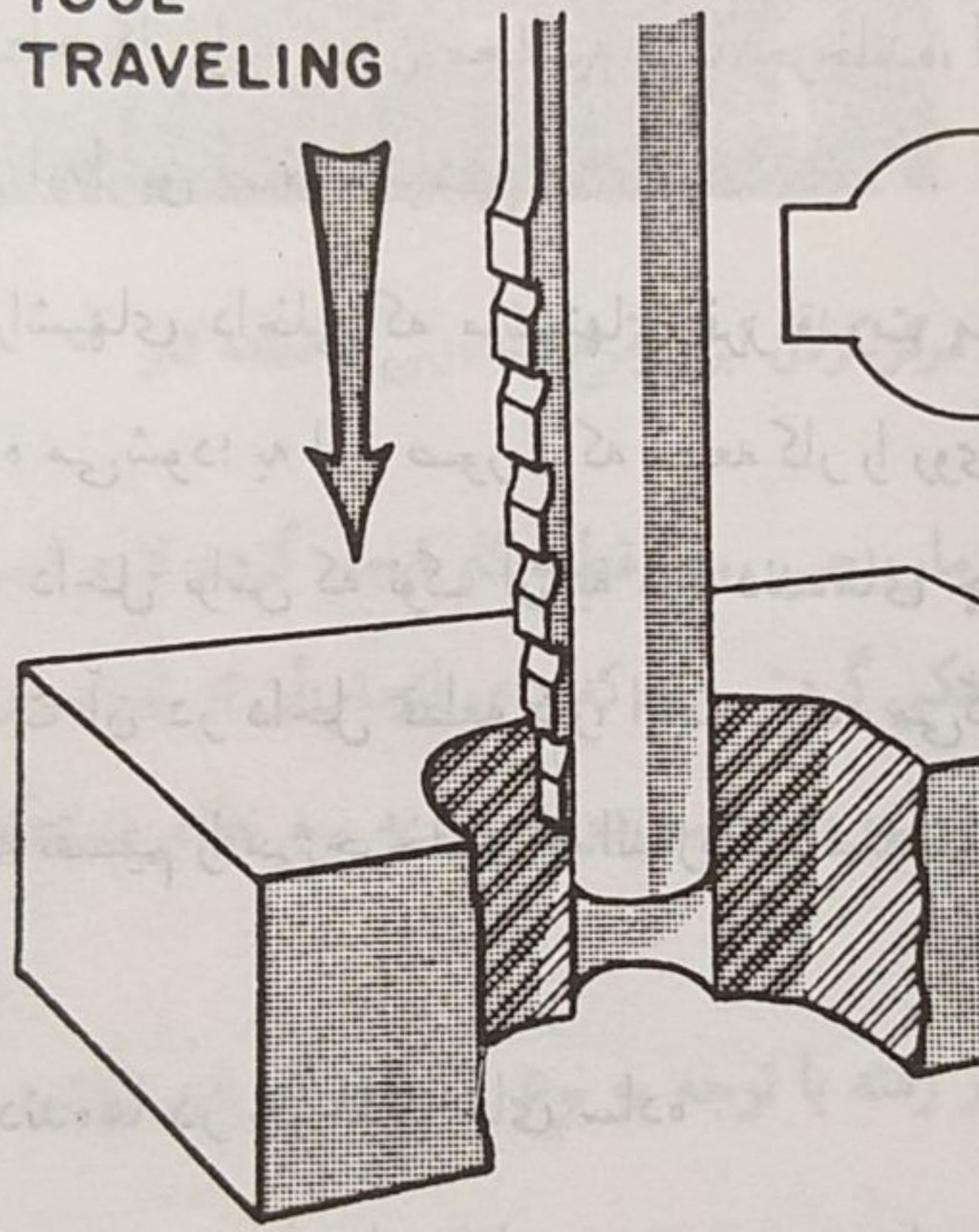
شکل۵-۵۶: حدیده کردن دستی



شکل۵-۵۷: حدیده‌کاری با ماشین گرد تراش

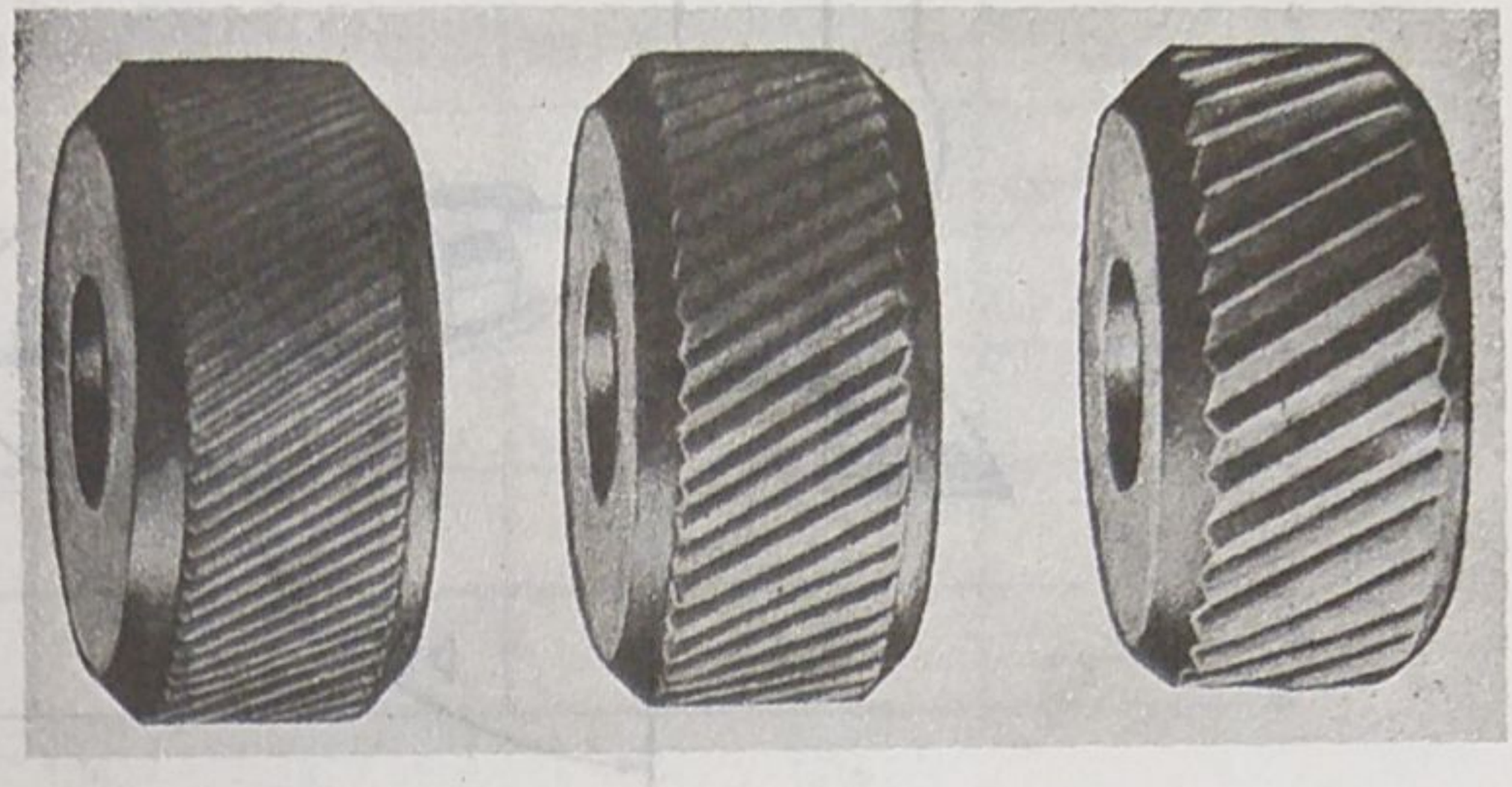


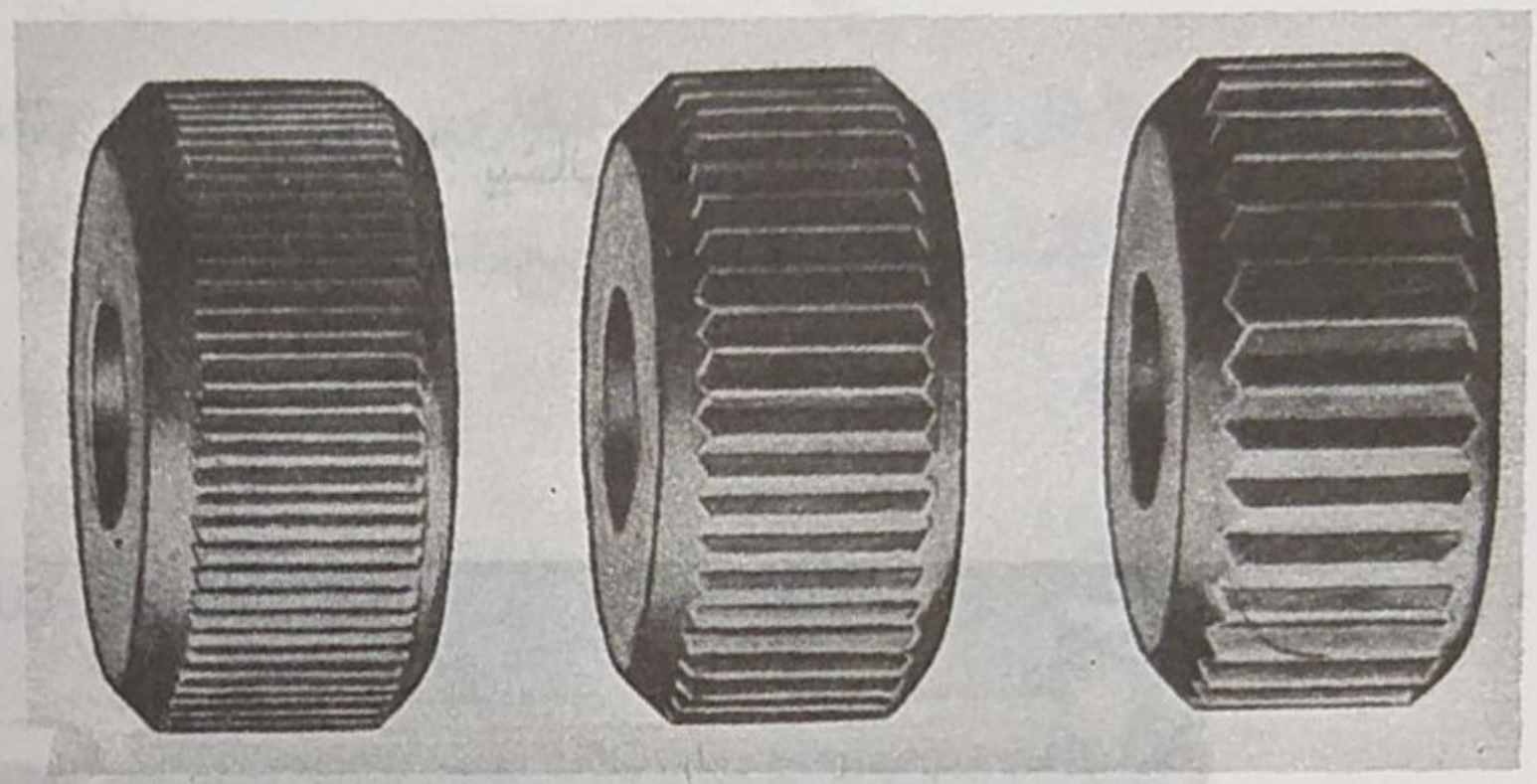
شکل۵-۵۸: ماشین پیچ‌تراشی اتوماتیک



شکل۵-۹۹: عملیات خانکشی

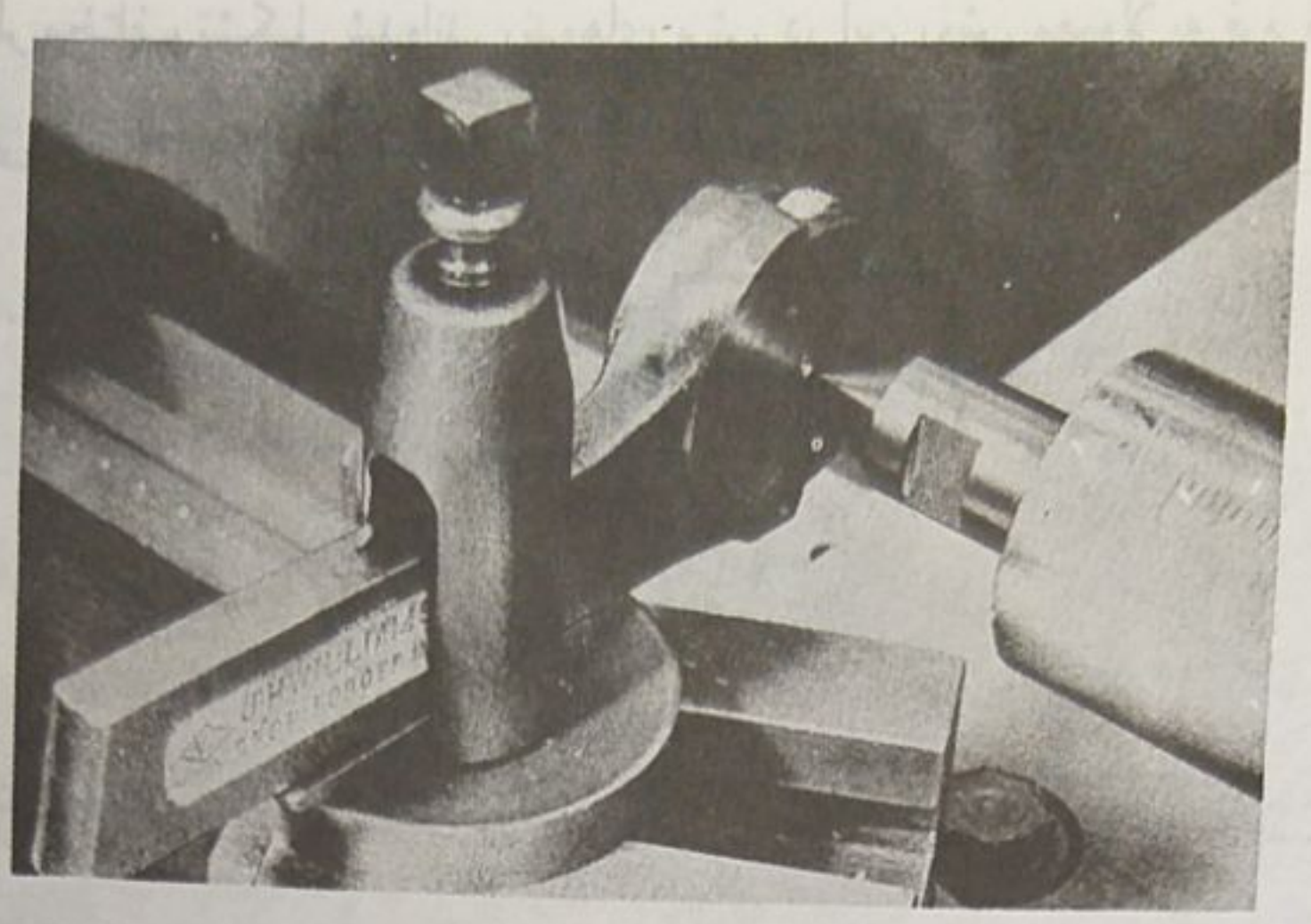
ب



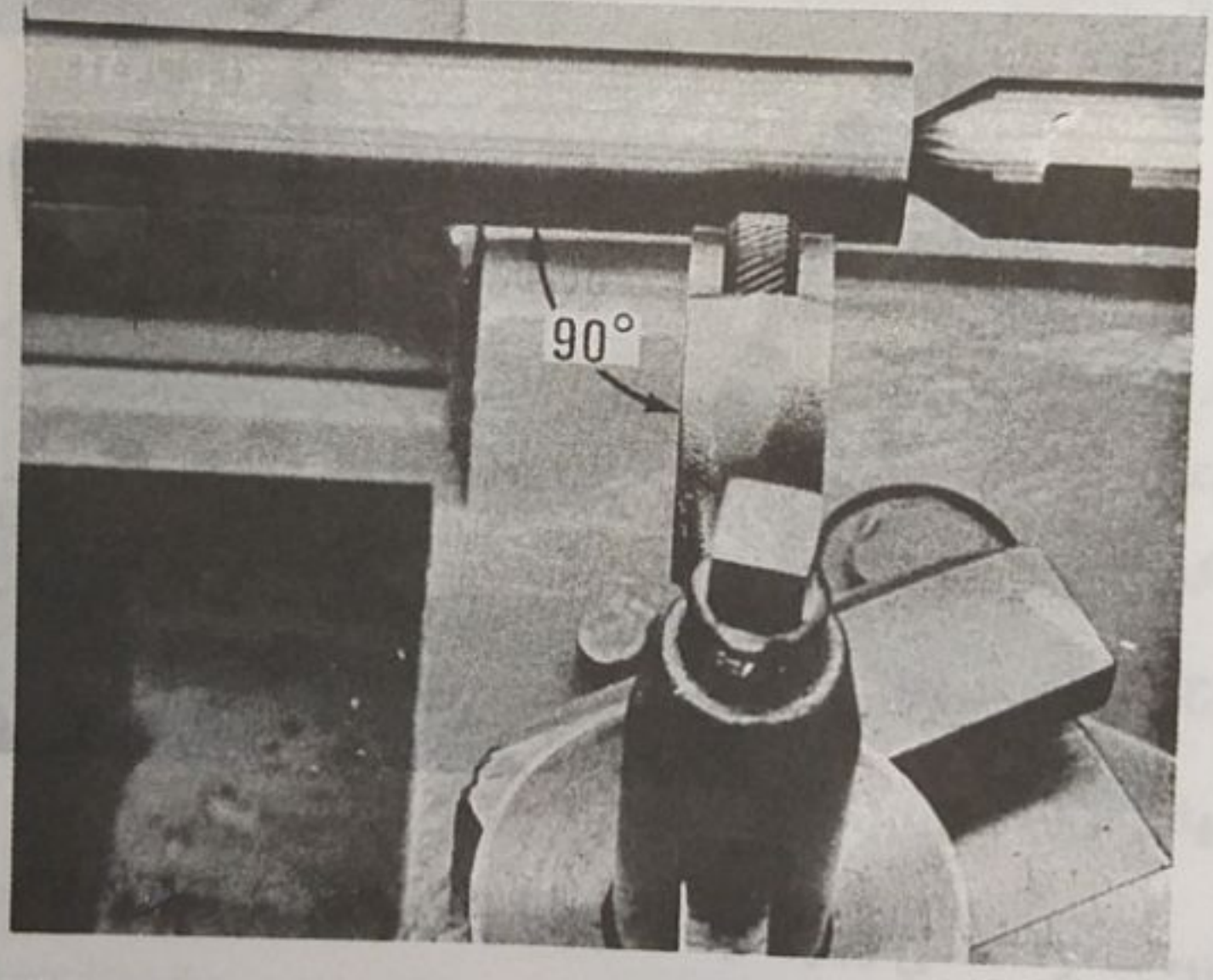


الف

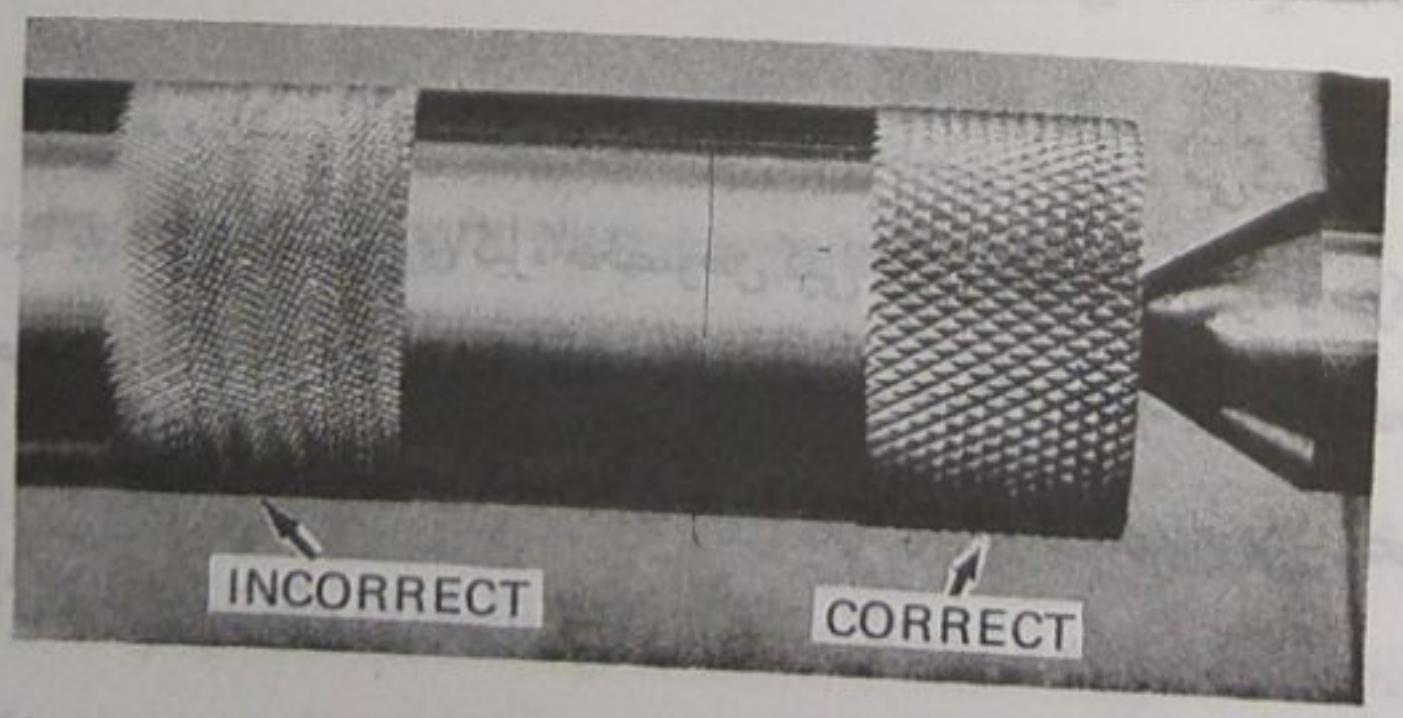
شکل۵-۵۰: شکلهای مختلف ابزار آج‌زنی الف. الماسهای آج‌زنی ریز، متوسط و درشت در دو نوع صاف راه و کج راه ب. ابزار آج‌زنی با یک جفت غلتک



الف

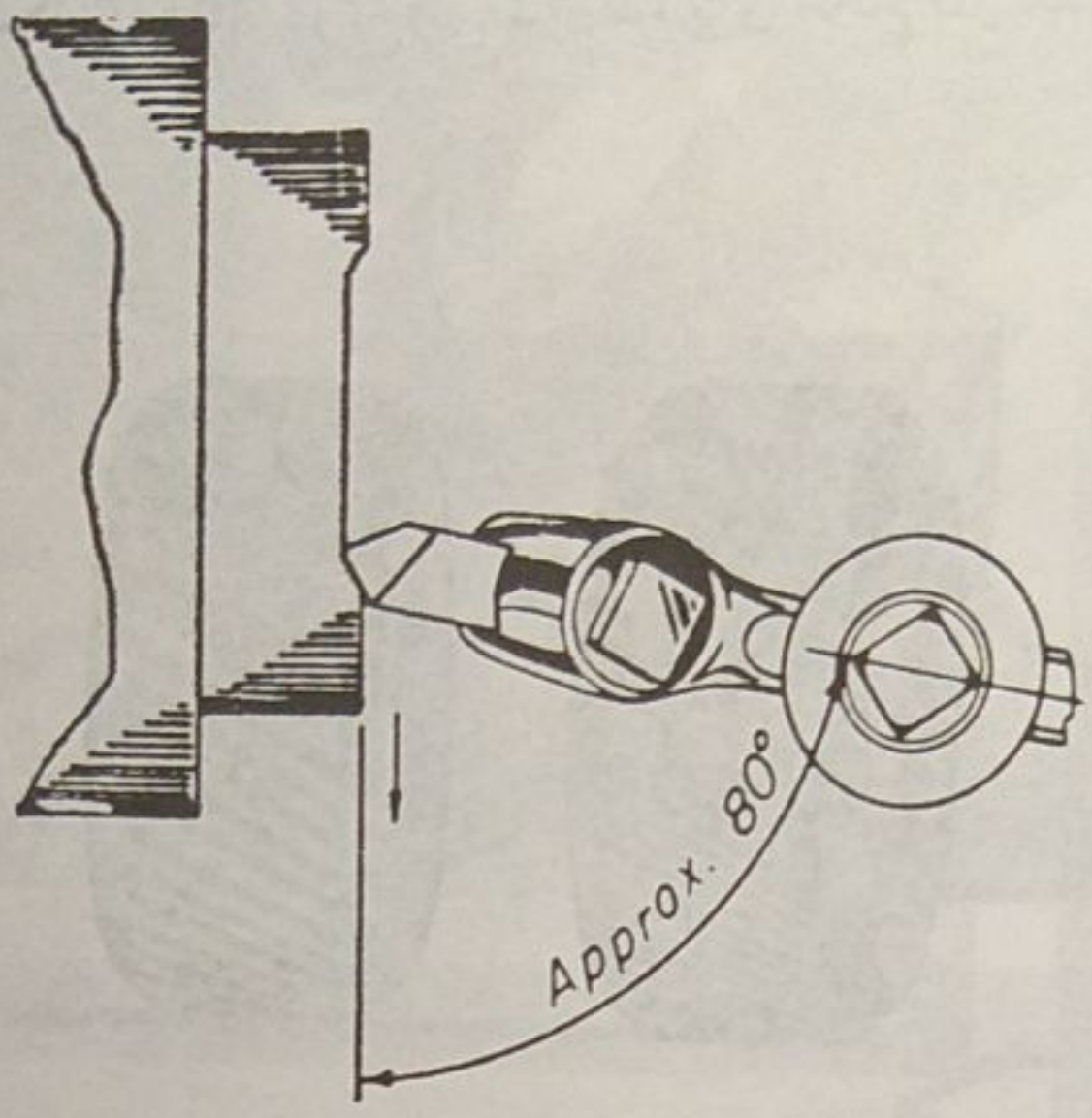


ب

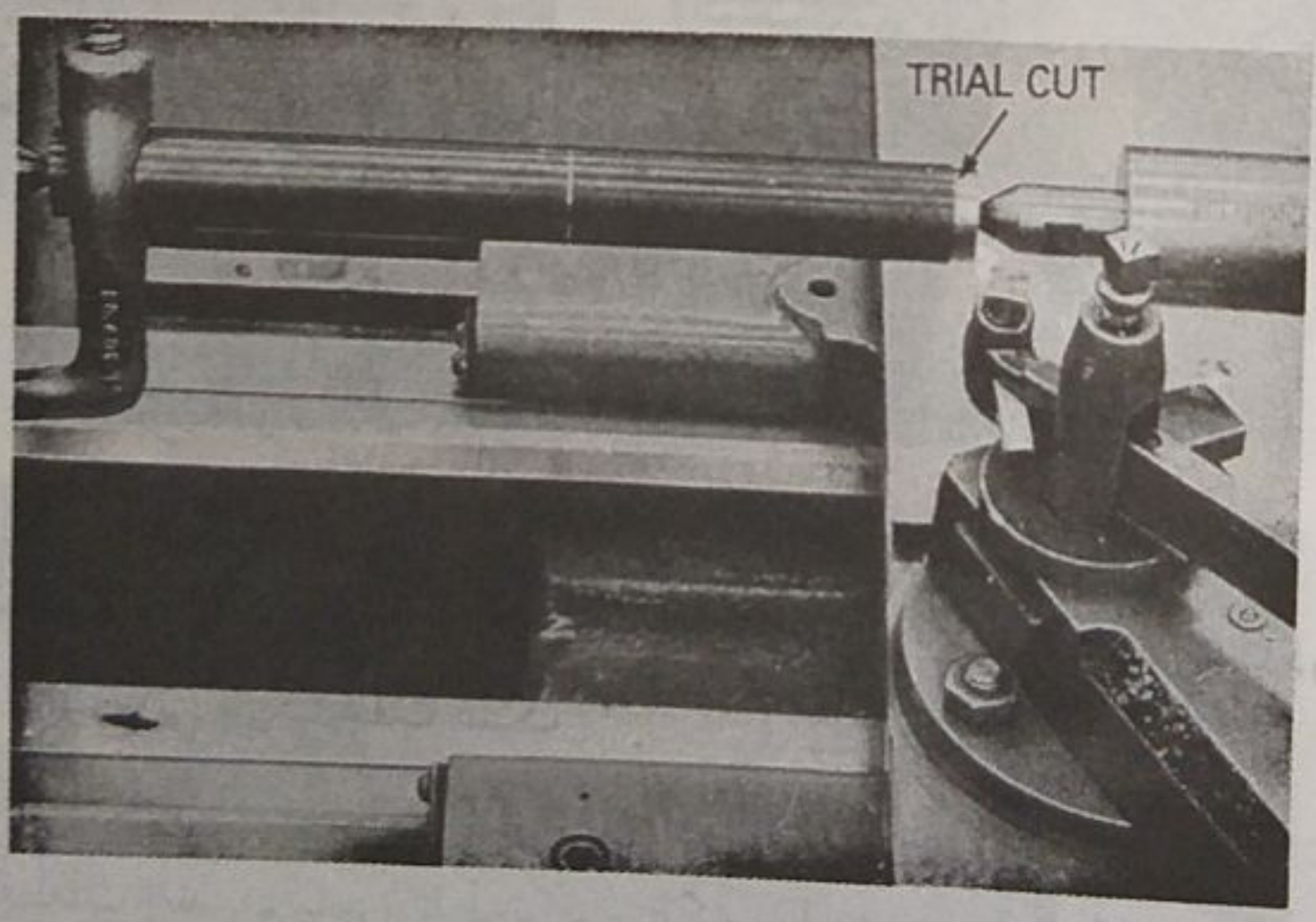


ج

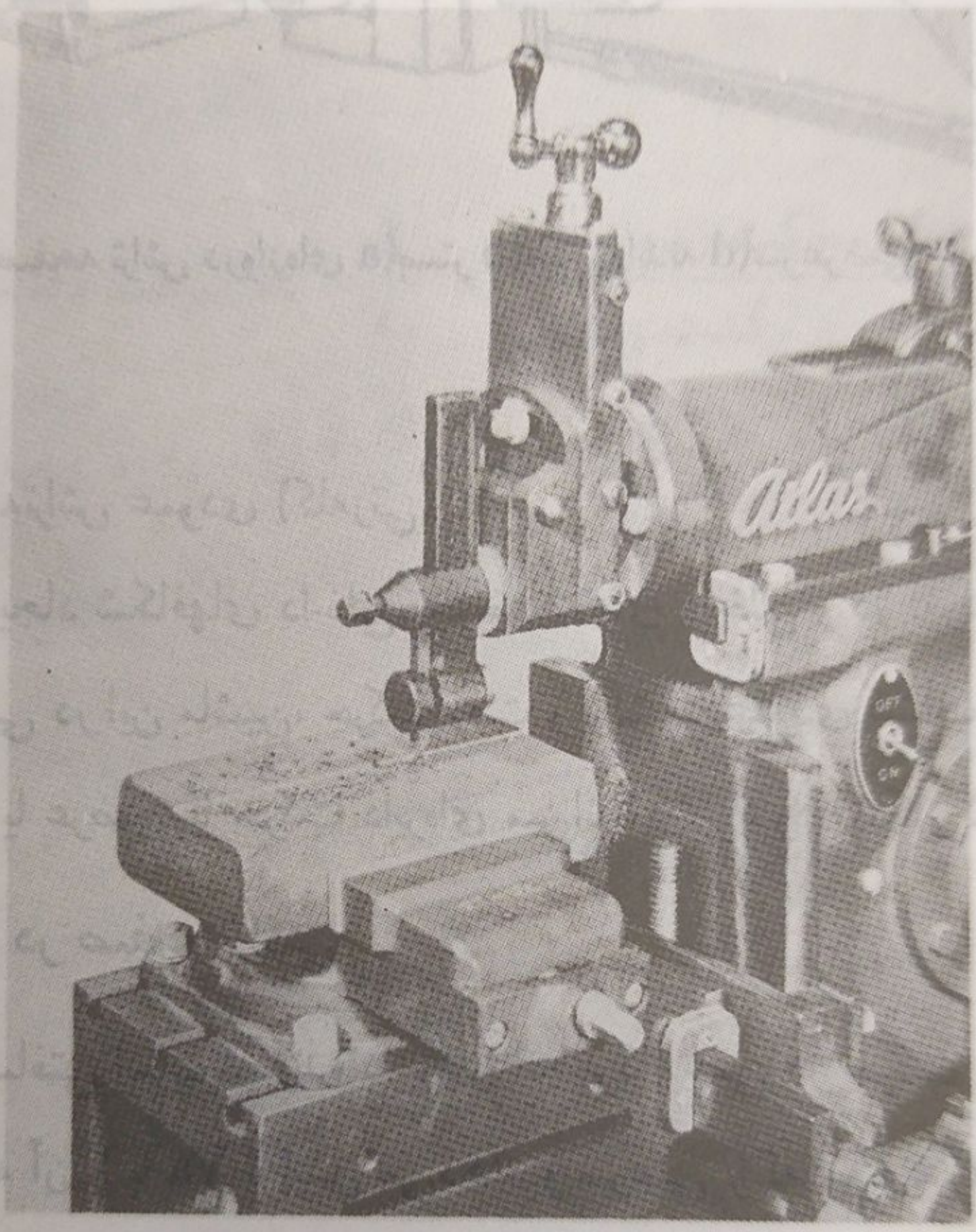
شکل۵-۵۱: مراحل مختلف عملیات آج‌زنی الف. مرکز کردن ابزار آج‌زنی با نوک مرغک ب. گونیا کردن ابزار آج‌زنی نسبت به قطعه کار ج. نمونه‌های آج‌زنی صحیح و غلط



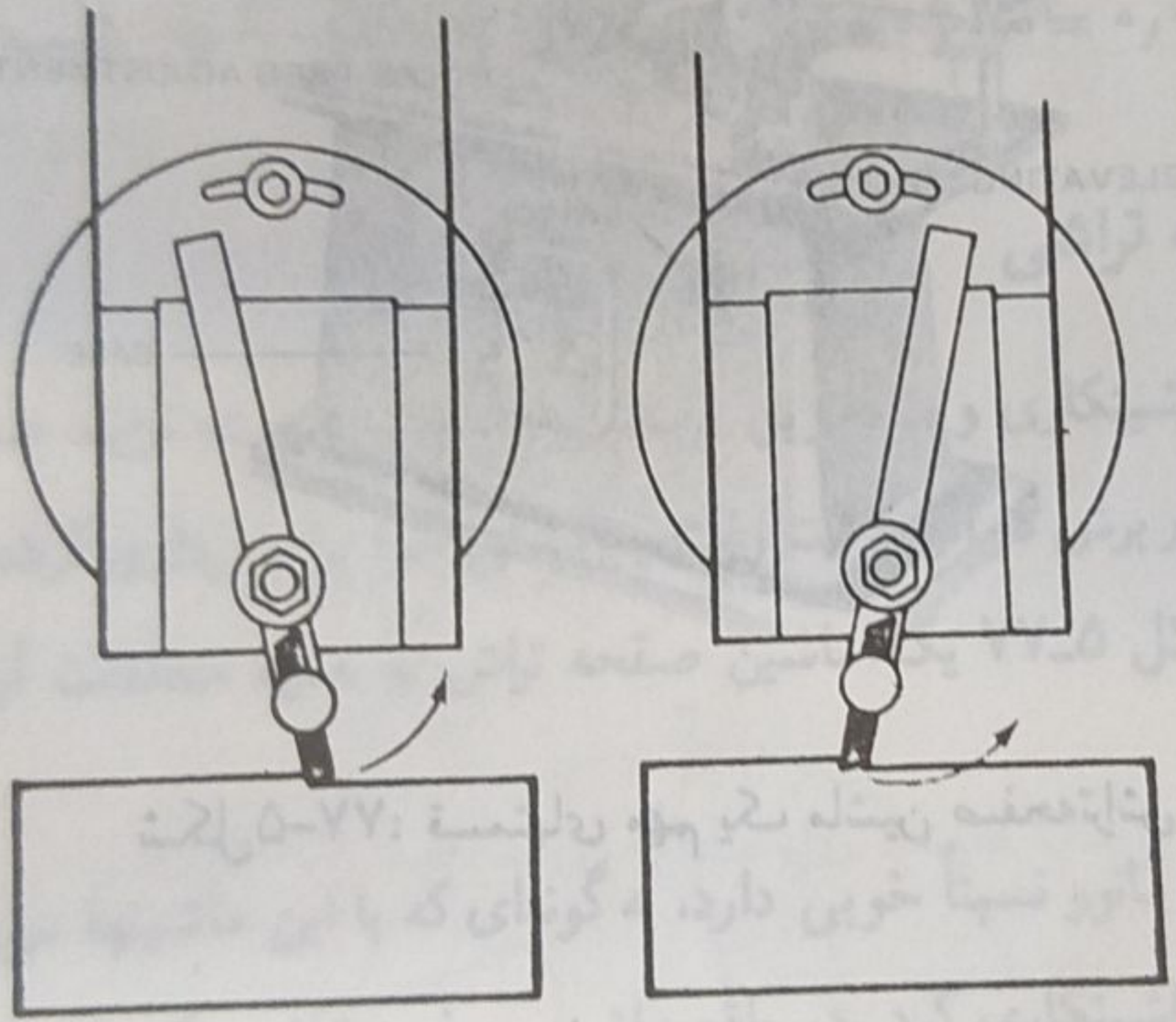
شکل۵-۴۸: پیشانی‌تراشی



شکل۵-۴۹: روتراشی بین دو مرغک



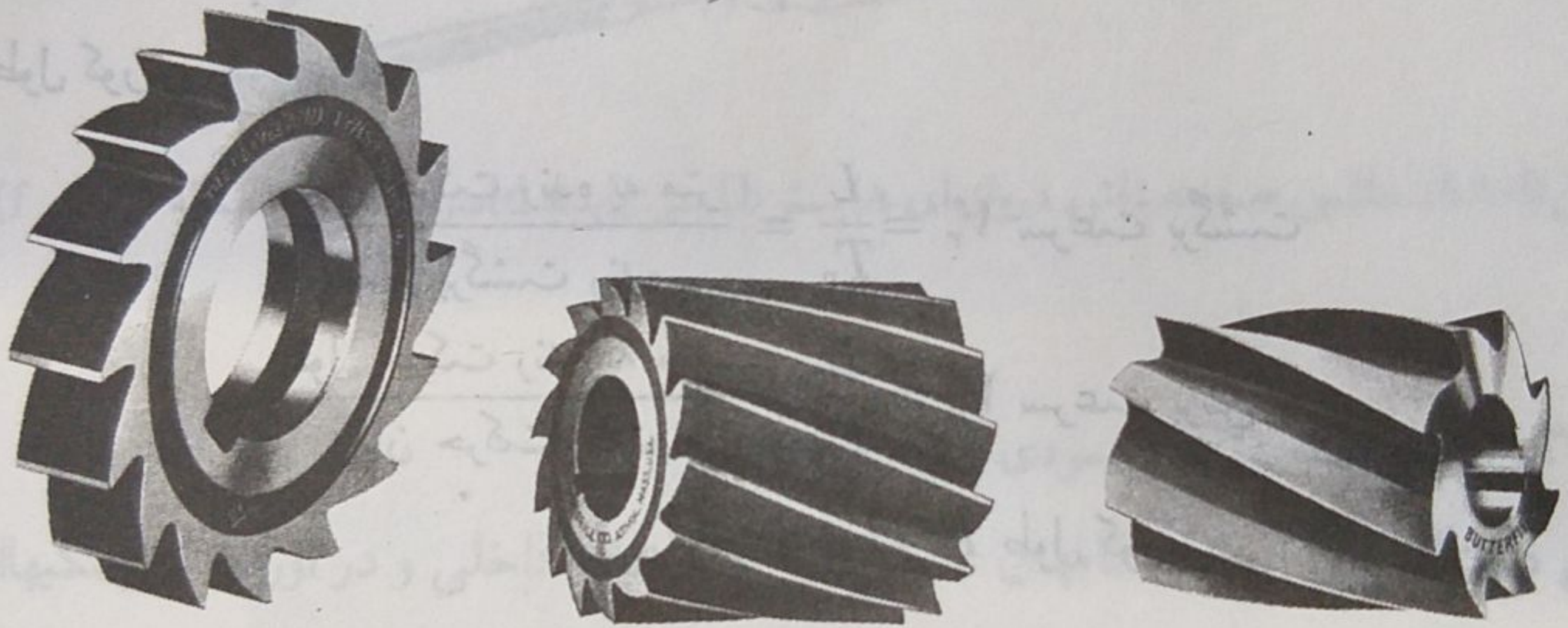
شکل۵-۸۰: ماشین صفحه تراش معمولی کورس کوتاه



الف- صحیح

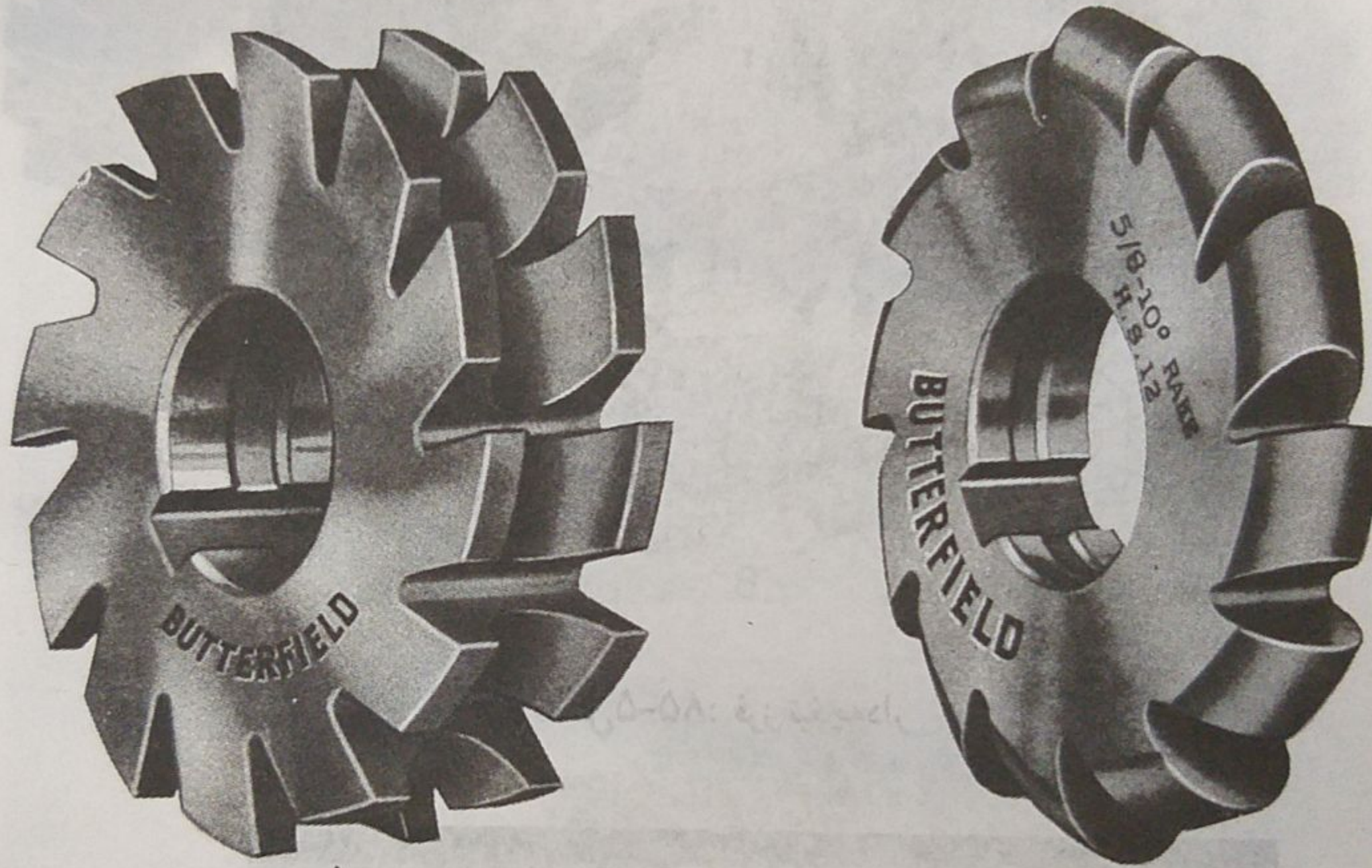
ب- اشتباه

شکل۵-۷۹: شکل صحیح قرار گرفتن رنده در صفحه تراشی



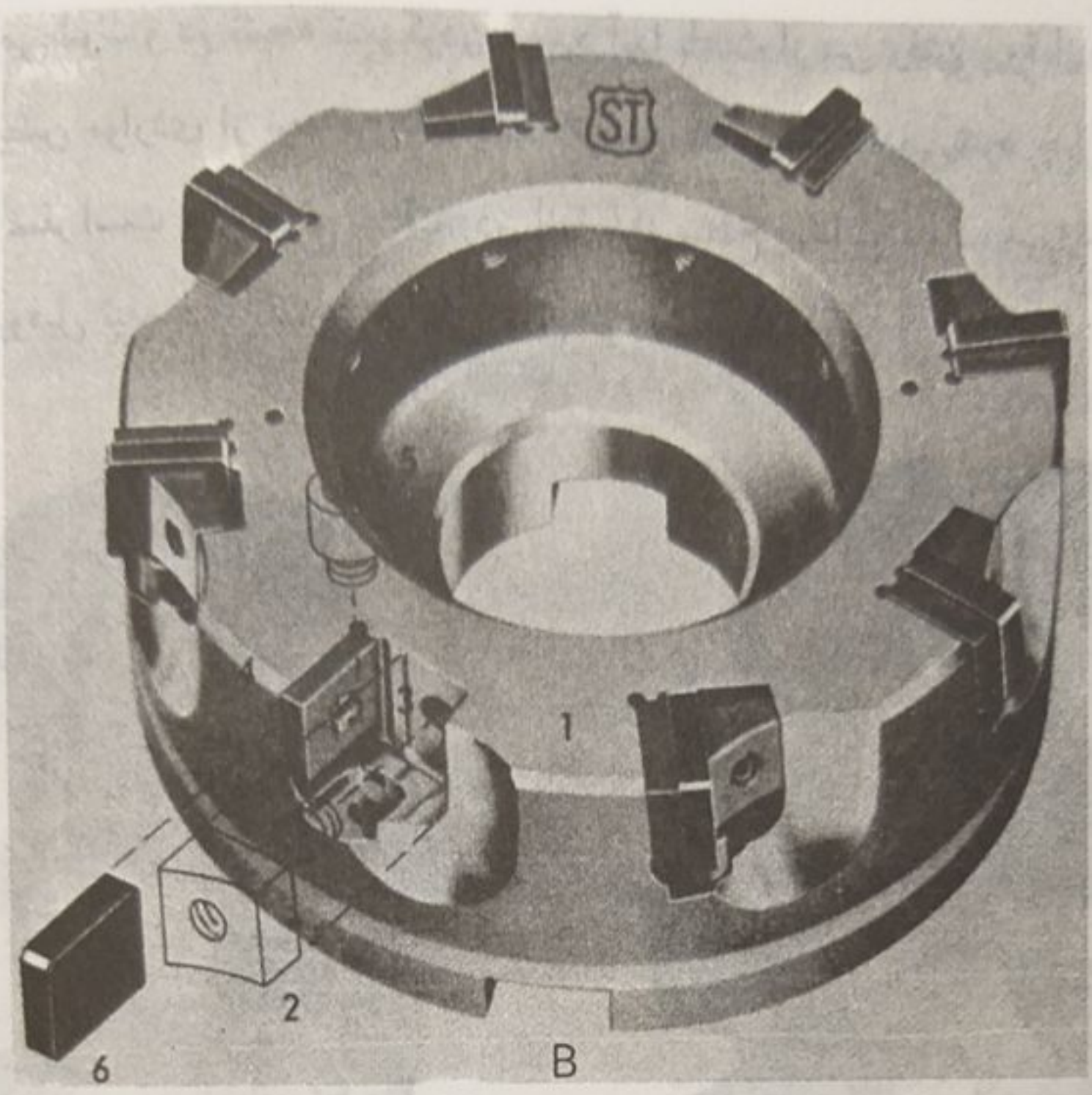
A B C

شکل۵-۸۳: تیغه‌های فرز شده. A) تیغ فرز برای کارهای سبک، B) تیغ فرز غلتکی دندانه مارپیچی، C) فرز غلتکی برای کارهای سنگین،

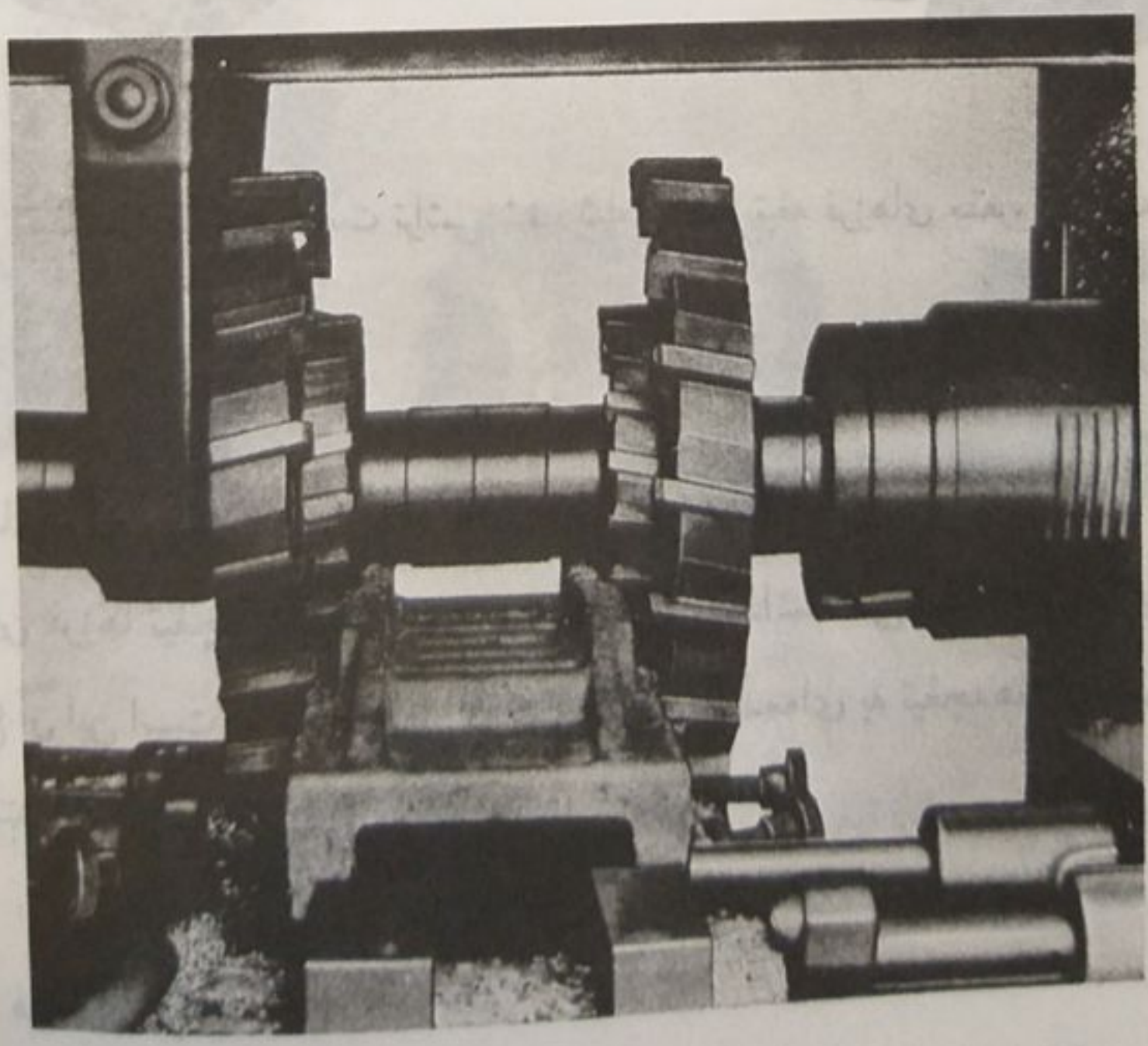


A B

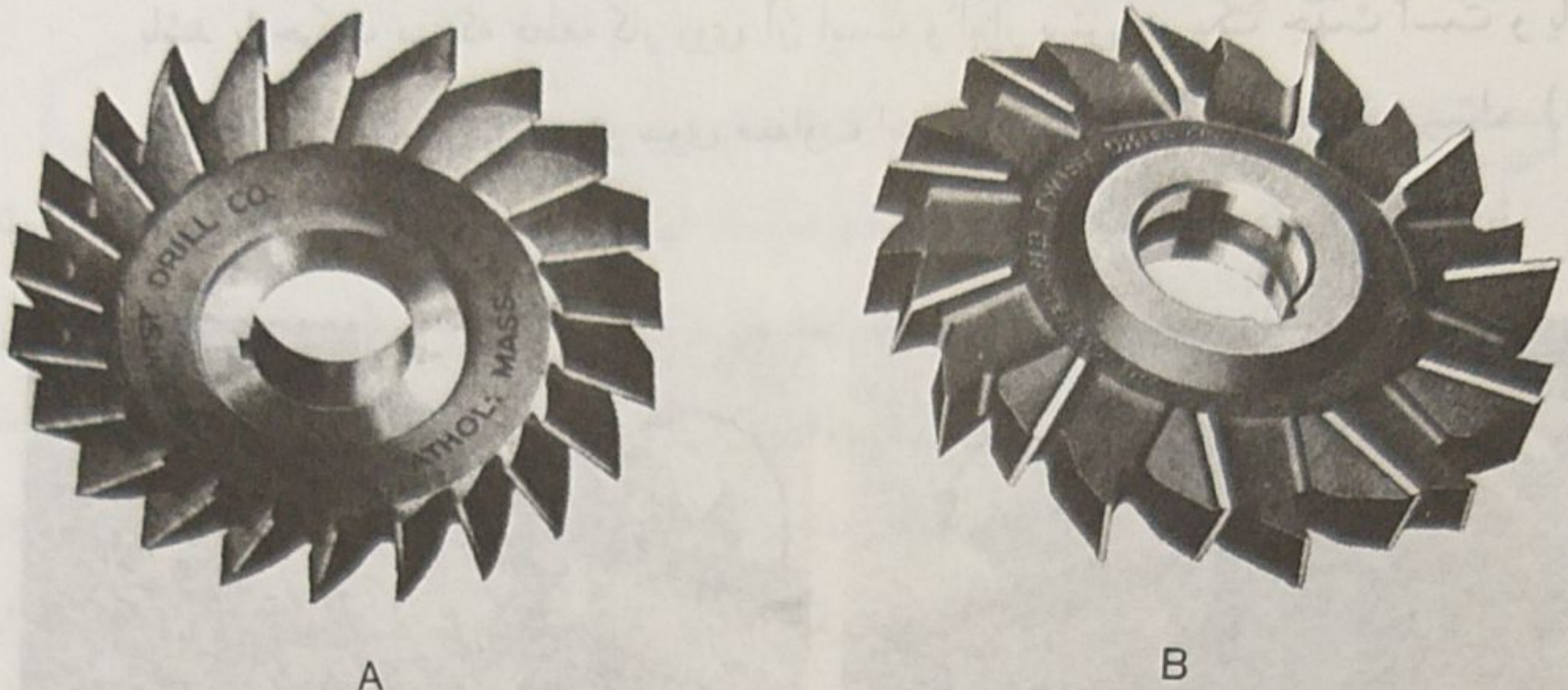
شکل۵-۸۴: تیغه‌های فرزهای پشت تراشی شده شامل. A) تیغه فرزهای مقعر، B) تیغه فرزهای محدب



شکل۵-۸۵: فرز تیغچه‌دار

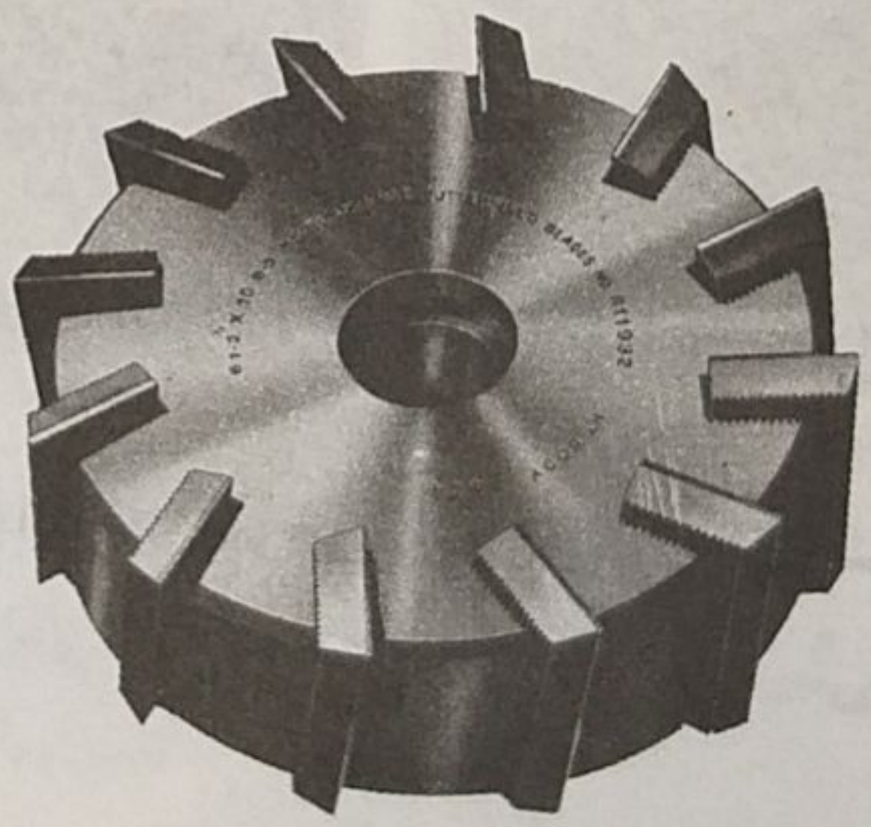


شکل۵-۸۶: نمونه یک تیغه مرکب

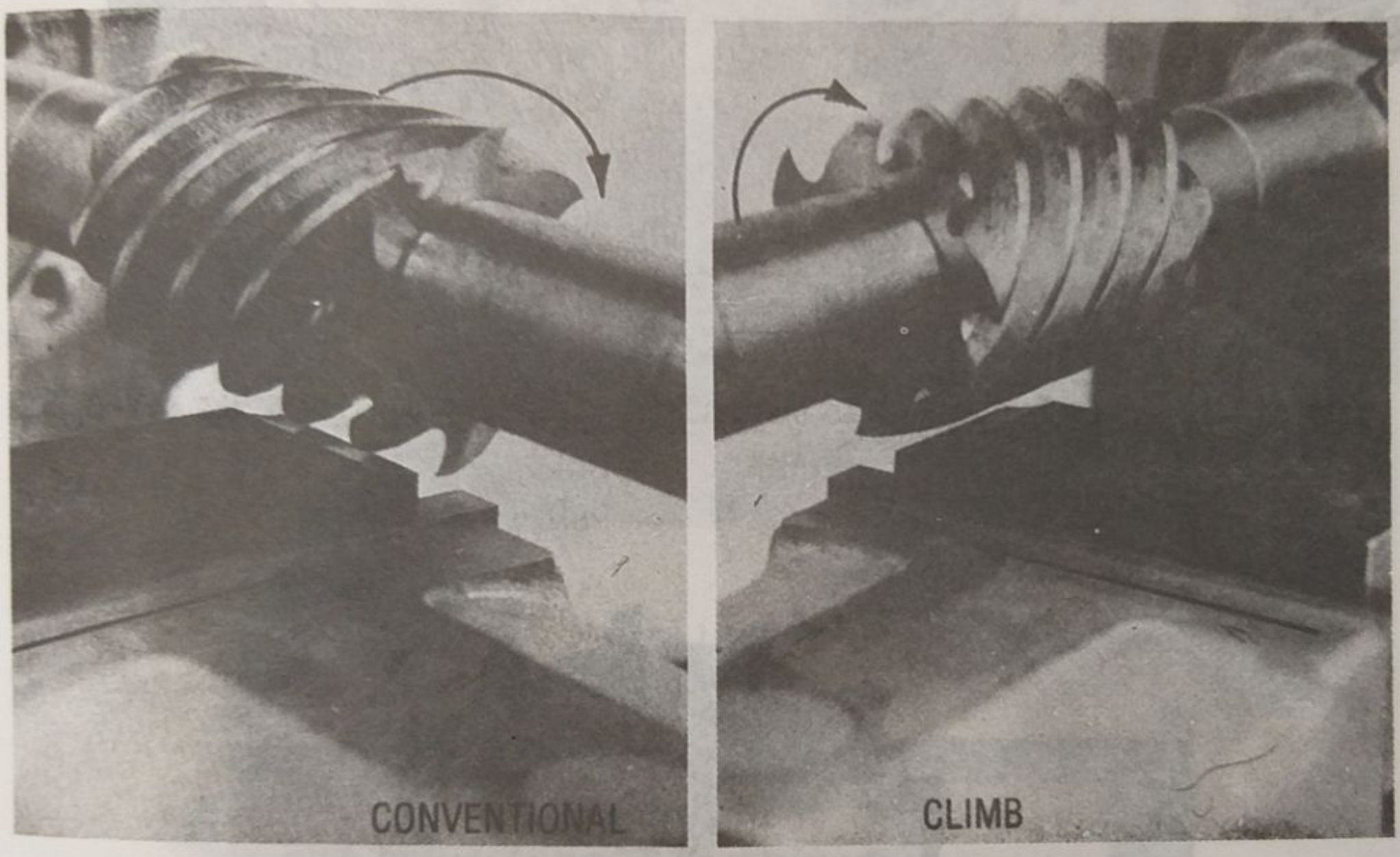


A B

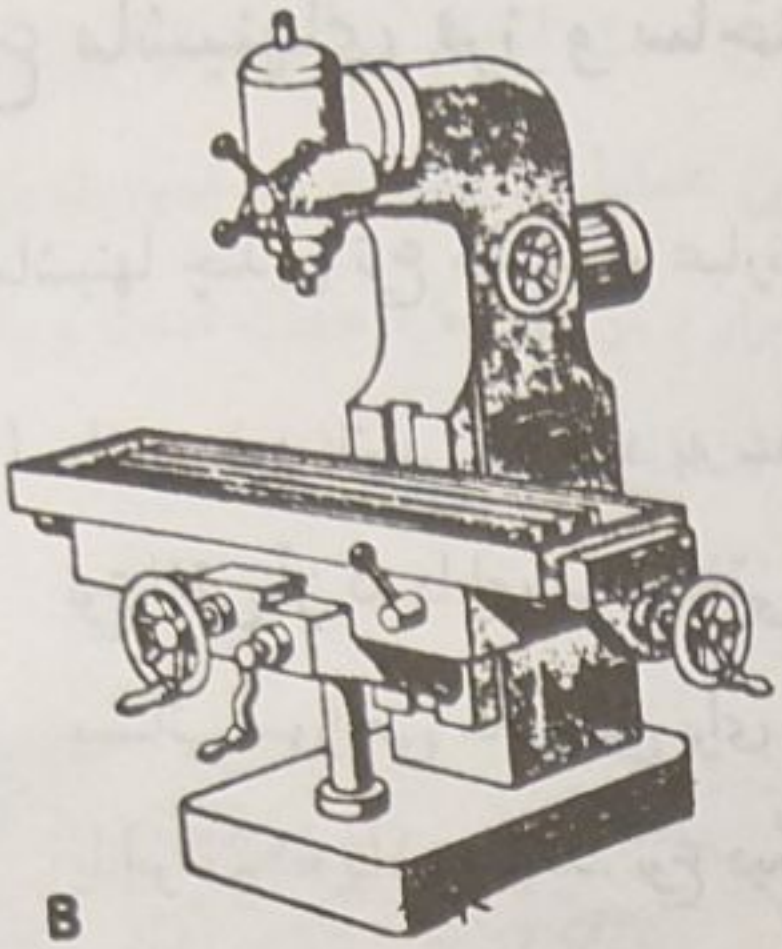
شکل۵-۸۷: تیغه فرزهای پهلو تراش شامل A) ساده، B) تیغ فرز صلیبی که با دو طرف پهلو تراشی می‌کند،



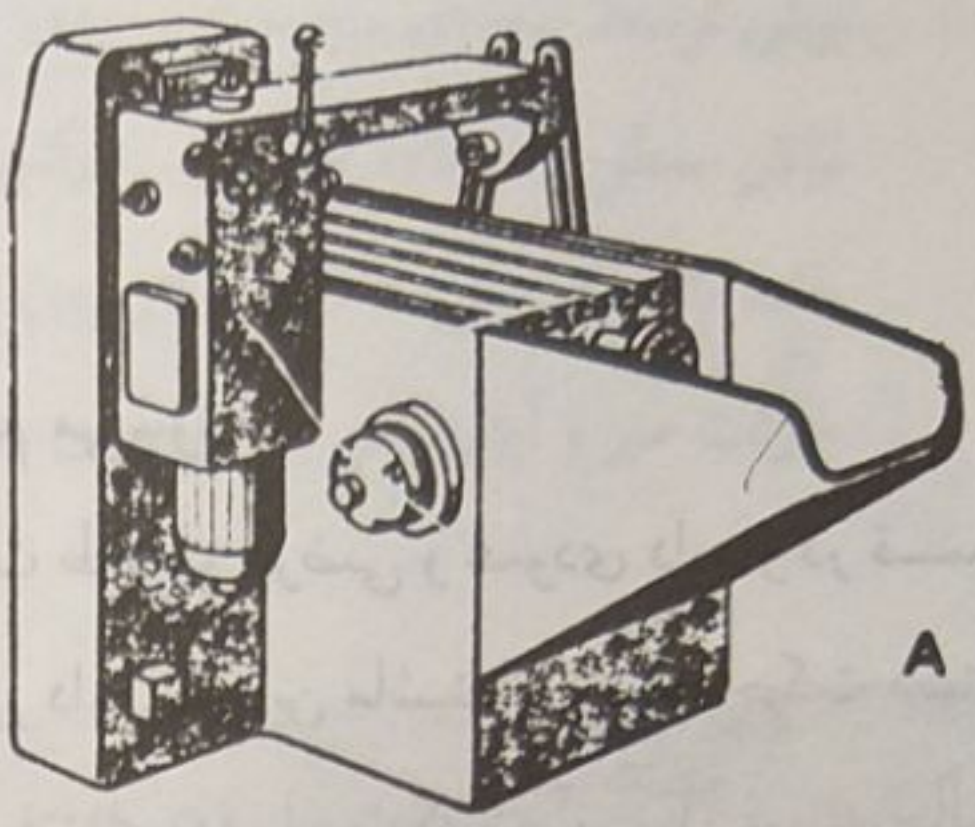
شکل۵-۸۸: تیغه فرز برای تراش سطح



شکل۵-۸۹: انواع حرکت میز و ابزار برش در حین کار در فرزکاری الف) حرکت در خلاف جهت هم (معکوس) ب) حرکت همراه

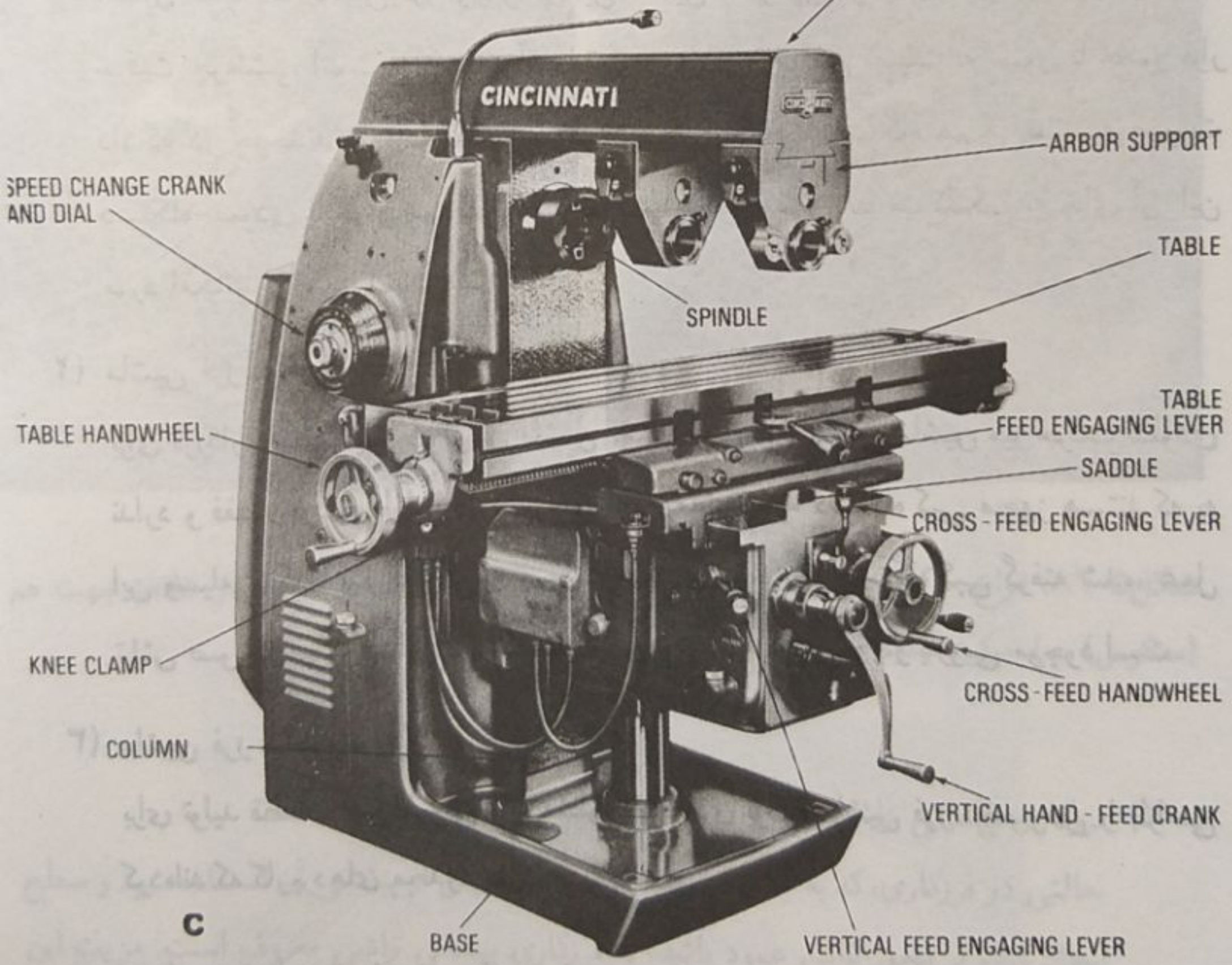


B



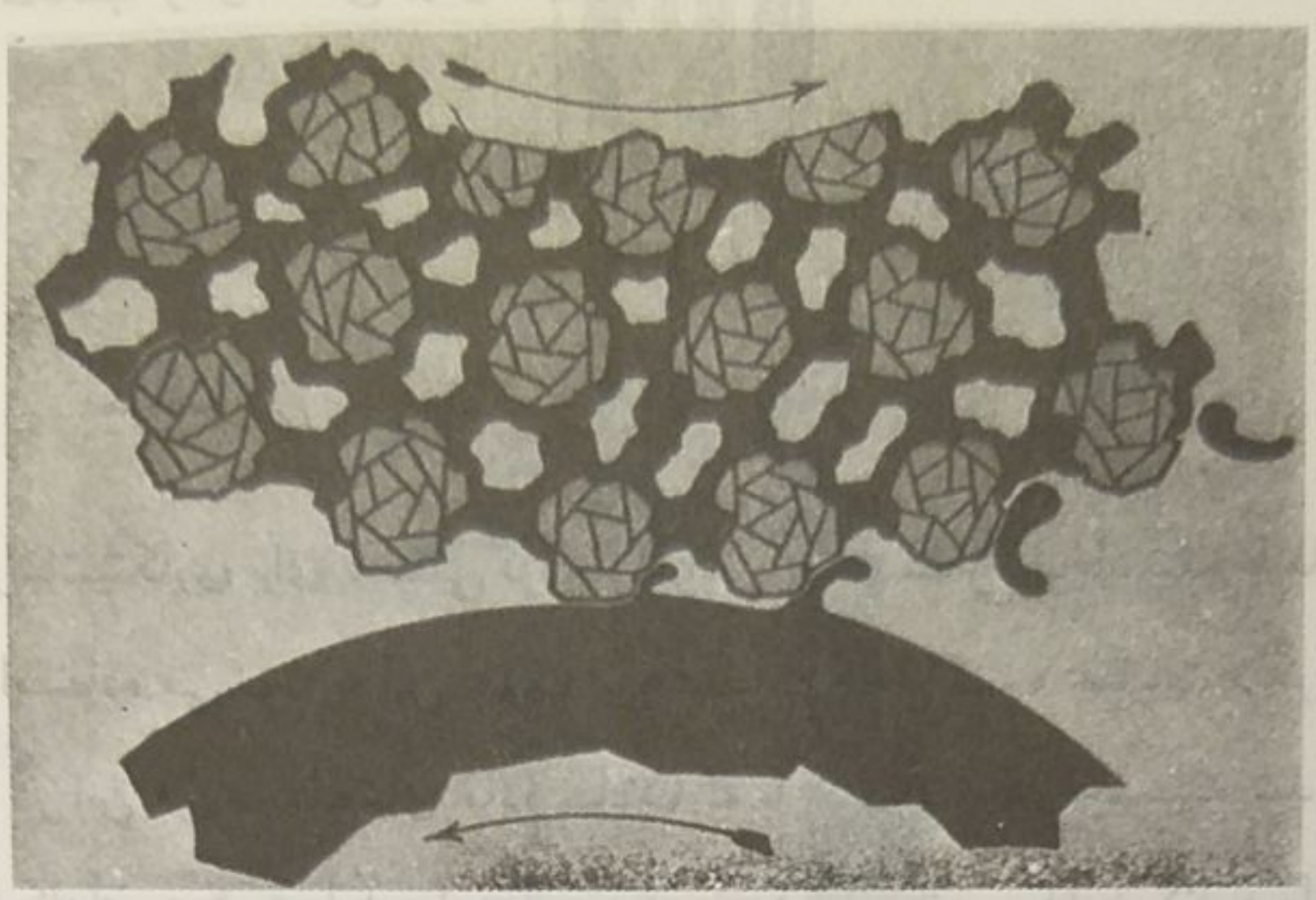
A

RAM - TYPE OVERARM

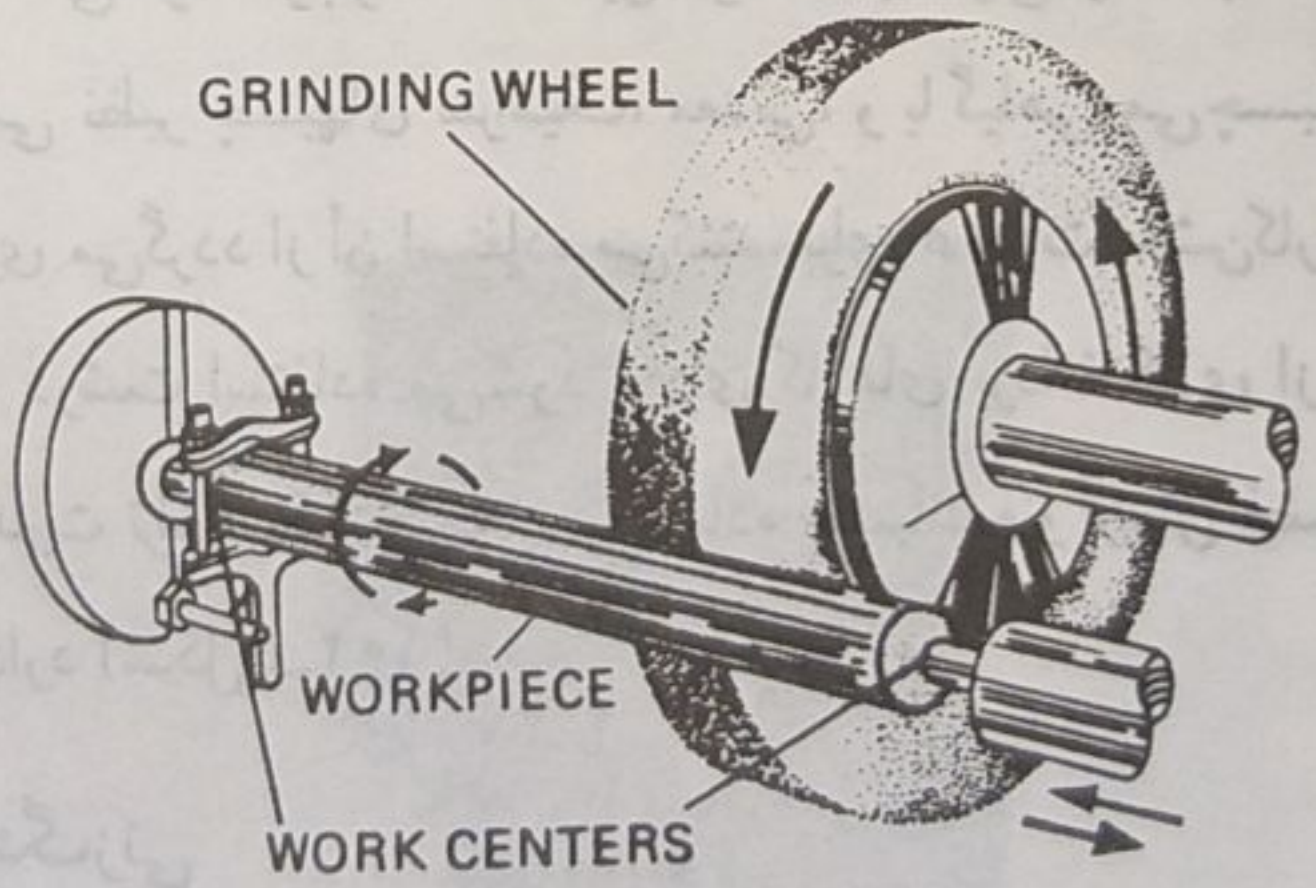


C

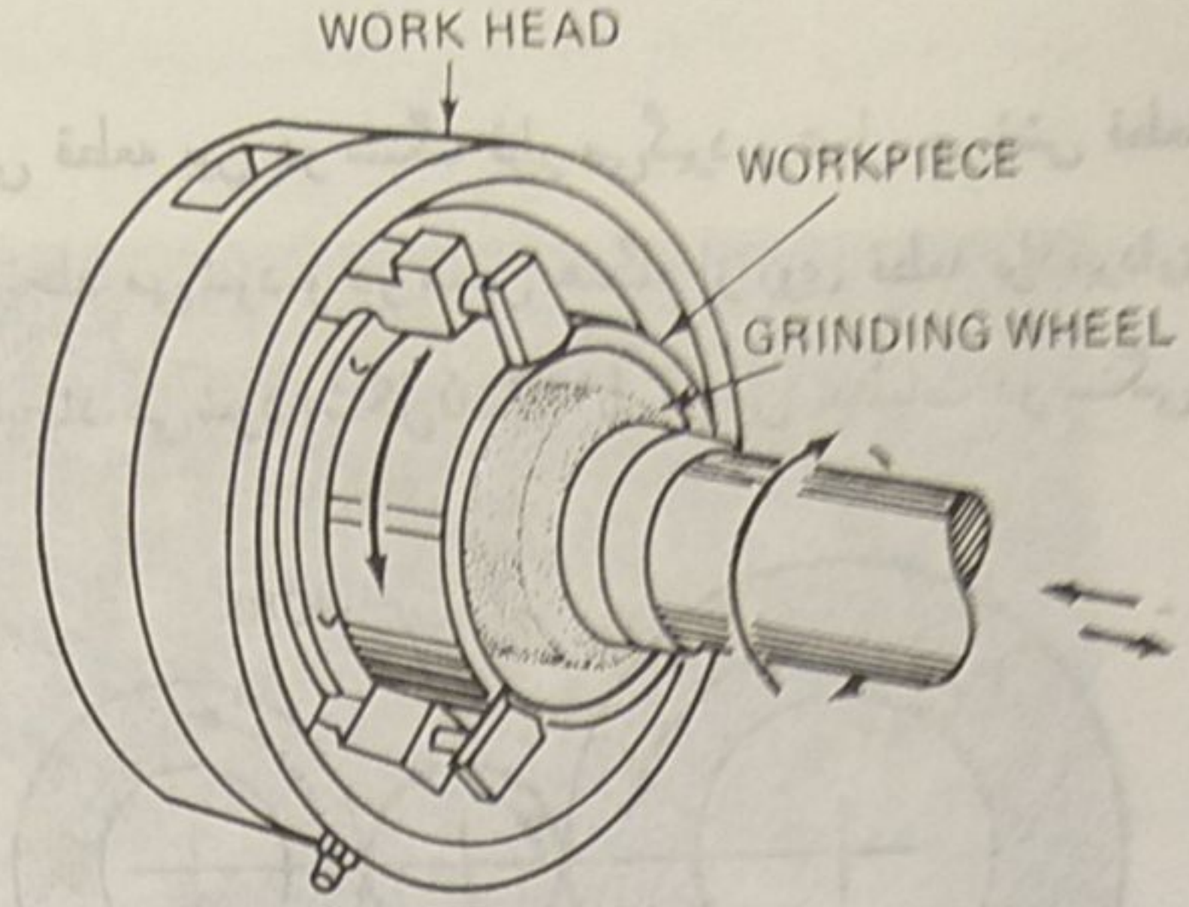
شکل۵-۹۰: انواع فرزهای زانویی الف) ماشین فرز افقی ساده ب) ماشین فرز عمودی ساده ج) ماشین فرز اونیورسال



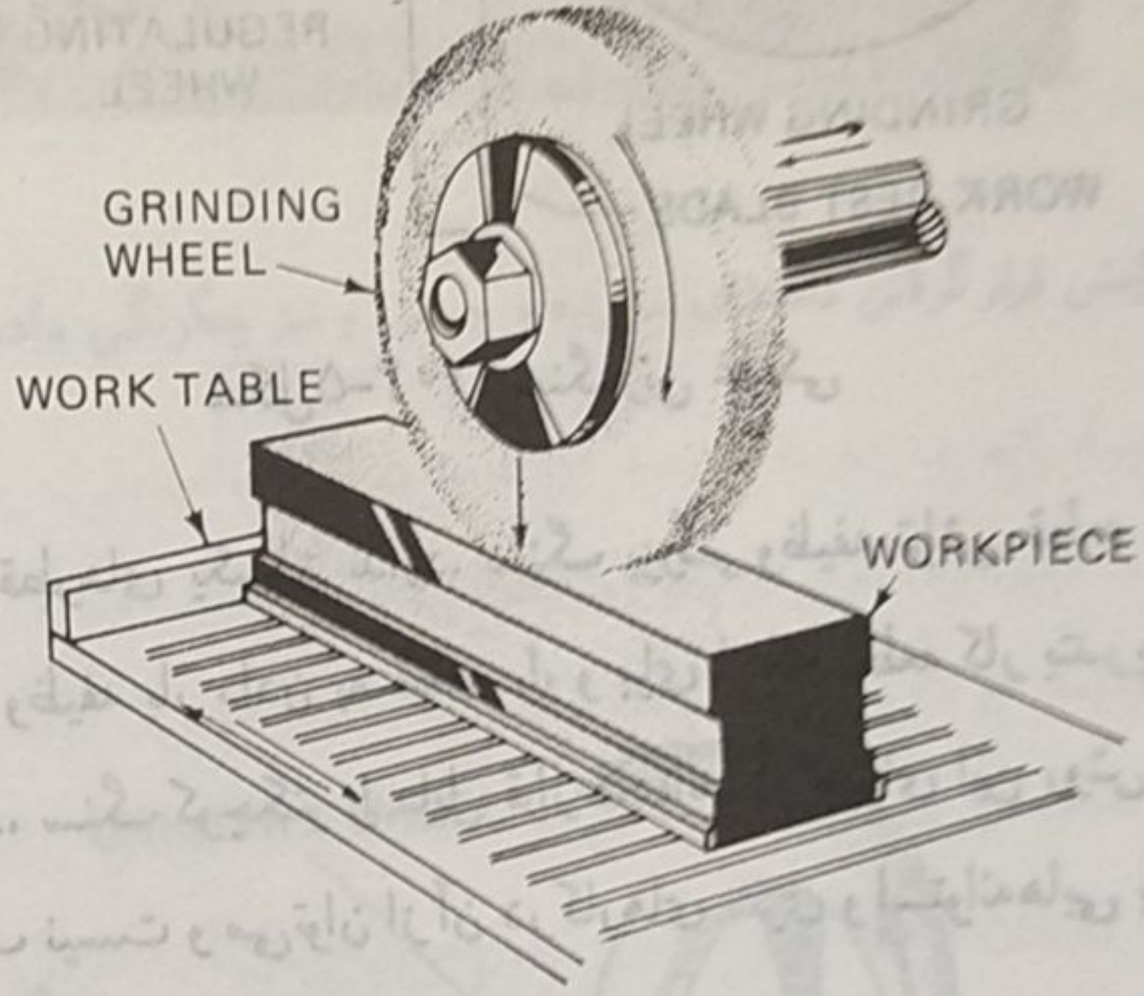
شکل۵-۱۰۲: آرایش قرارگرفتن دانه‌های سابیده و چسب و نیز چگونگی براده‌برداری از سطح قطعه کار



شکل۵-۱۰۳: سنگ‌زنی استوانه‌ای

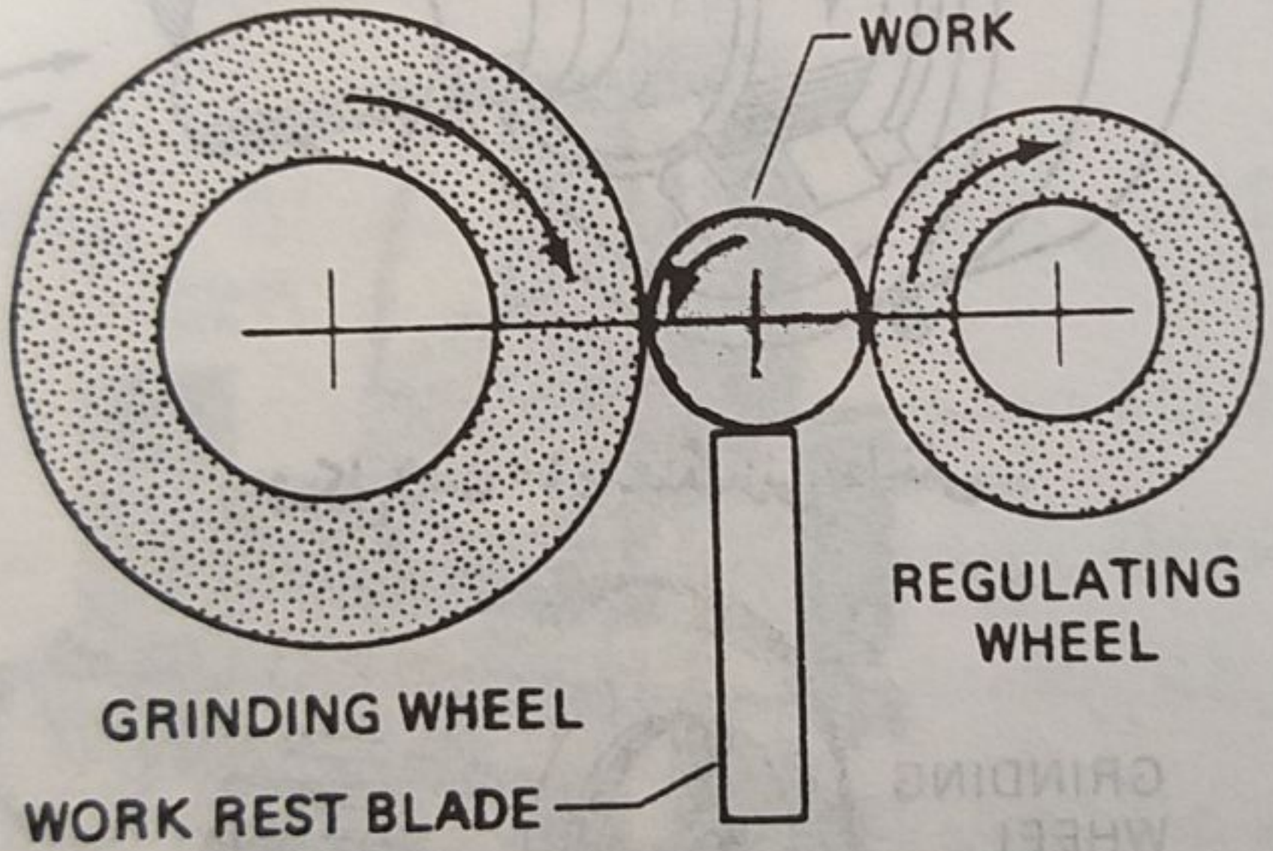


شکل۵-۱۰۵: سنگ‌زنی داخلی



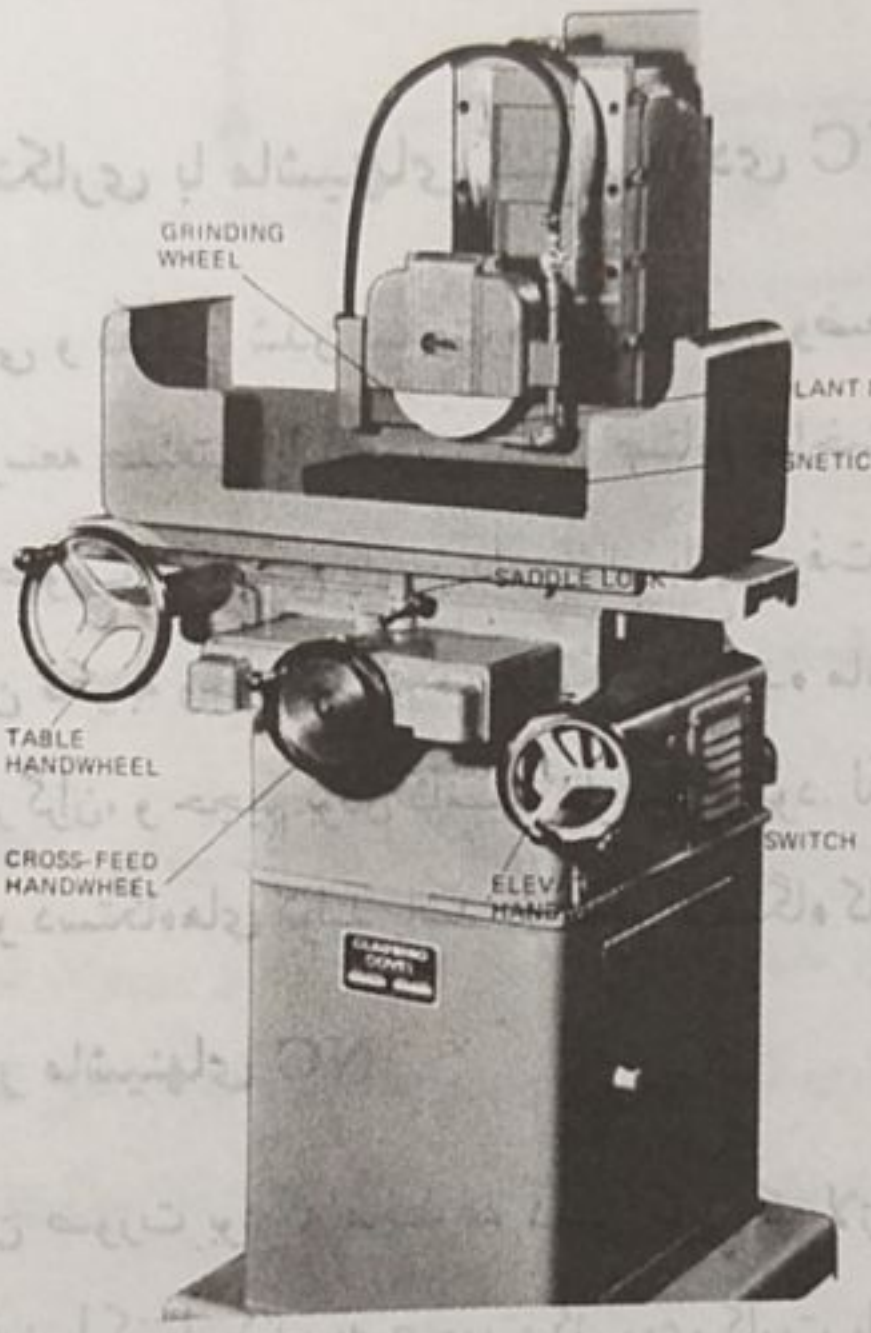
شکل۵-۱۰۶: سنگ‌زنی سطحی

۵) برش با استفاده از سنگ



شکل۵-۱۰۴: سنگ‌زنی غلتکی

ماشین کف‌سایی، که هم می‌تواند دارای محور افقی باشد، هم دارای محور عمودی، در اثر دوران سنگ و حرکت رفت و برگشت میز از قطعه براده‌برداری می‌کند ماشینهای گردسایی که خود در دو نوع ساده و اونیورسال موجود است، بر اساس حرکت دورانی قطعه کار، سنگ و حرکت رفت و برگشت میز، کار می‌کند. (شکل۵ـ۱۰۷) دستگاه‌ها و ماشین‌آلات سنگزنی پیشرفته‌تری هم برای



شکل۵-۱۰۷: ماشین کف‌سایی با محور افقی

سنگزنی شاتونها و سیلندر موتورها موجود است که دقت و کیفیت کار آنها به مراتب زیادتر می‌باشد.

۵-۶ ماشینکاری با ماشینهای مخصوص

عمده‌ترین روشهای تولید با ماشینهای مخصوص عبارتند از:

الف) ماشینهای کنترل عددیNC و CNC(Numerical Control)

ب) ماشینکاری با ماشینهای تخلیه الکتریکی (EDM) (Electro Discharge Machining)

ج) ماشینکاری باجت مواد ساینده: (AJM) (Abrasive Jet Machining)

د) ماشینکاری با انرژی فرا صوتی (USM) (Ultrasonic Machining)

هـ) ماشینکاری با ماشینهای الکتروشیمیایی (Electro Chimical Machining)(ECM)

و) ماشینکاری با پرتو الکترونی (Electron Beam Machining) (E.B.M)

ز) ماشینکاری با پرتو لیزری (Laser Beam Machining) (L.B.M)

که در ادامه بطور مختصر در مورد هر یک توضیحاتی آورده شده است.

۵-۶-۱ ماشینکاری با ماشینهای کنترل عددی NC و CNC

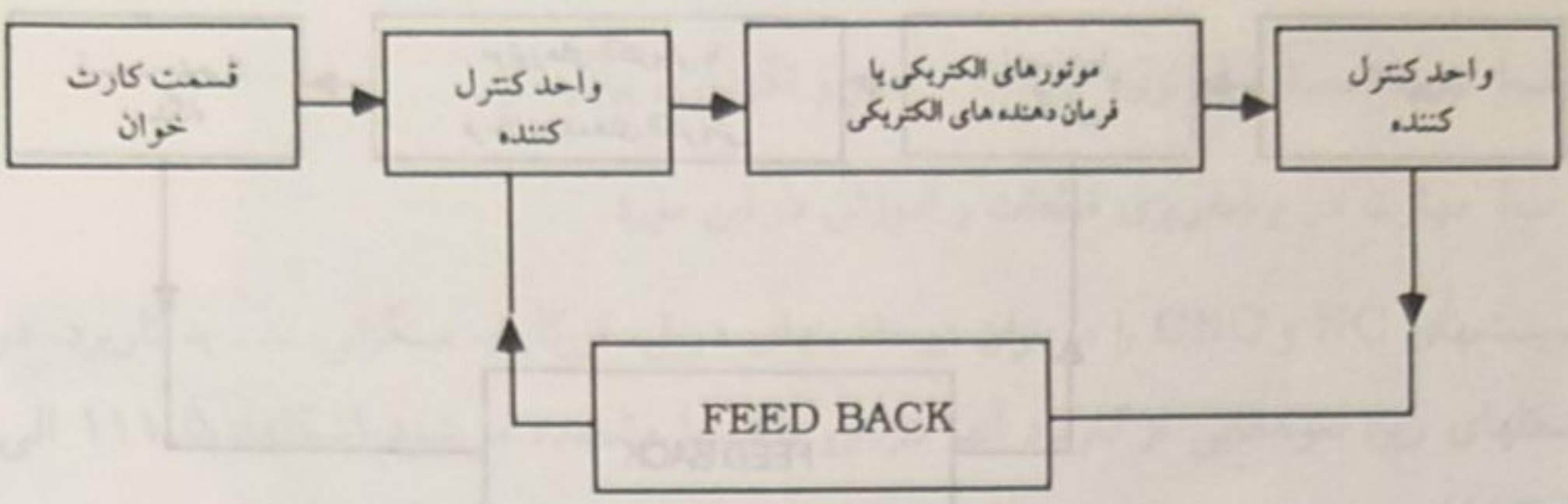
بعد از انقلاب صنعتی و دگرگون شدن ساختارهای صنعتی، وضعیت تولید کالا متحول گردید. نیاز به انبوه قطعات و توسعه صنعتی با گسترش دادن صنایع ساخت و تولیدی، در ابتدا با اتوماتیک کردن دستگاه‌ها به صورت مکانیکی پاسخ داده شد. با پیشرفت علوم الکترونیک و ساخته شدن کامپیوترهای اولیه این فکر به وجود آمد که قسمت کنترل کننده ماشین آلات به کامپیوتر سپرده شود، ولی این کار به خاطر گران، و حجیم بودن کامپیوترها عملی نبود. لذا ماشینهایی اختراع شد که بتواند رابط میان کامپیوتر و دستگاه‌های تولید باشد که همان دستگاه کارت پانچ است.

- **روش کار در ماشینهای NC:**

روش کار به این صورت بود که مجموعه دستورهایی که لازم بود توسط کامپیوتر اجرا شود تا یک ماشین مانند فرز را کنترل کند، به صورت کد روی کارت پانچ می‌کردند. هر بار با قرار دادن کارت پانچ شده در قسمتی ازدستگاه فرز، که به‌همین منظور تهیه شده‌بود، آن کدها را به صورت پالس الکتریکی به موتور فرستاده، به دستگاه منتقل می‌کردند. با این روش دستگاه با یک رابط توسط کامپیوتر کنترل شده بود (شکل۵ـ۱۰۸).

- **روش کار در ماشینهای CNC:**

با پیشرفت روز افزون کامپیوتر و افزایش کمی و کیفی آن، کنترل ماشینها با کامپیوتر عملی شده به این ترتیب هر ماشین صنعتی می‌توانست به یک واحد کامپیوتری مجزا مجهز شود به گونه‌ای که اپراتور مستقیماً بتواند با وارد کردن برنامه به طور همزمان ماشین را کنترل کند. تفاوت اساسی میان ماشینهای NC و CNC در چگونگی انتقال دستور از کامپیوتر به ماشین است که در NC، دستور روی کارتها پانچ شده، به دستگاه (قسمت کارت خوان) داده می‌شود. این قسمت تا عملیات



شکل۵-۱۰۸: شماتیک اجزای ماشین NC

یک مرحله را انجام ندهد، قسمت بعدی را نمی‌خواند. اما در ماشینهای CNCکامپیوتر کدها را مستقیماً به صورت پالس به موتور کنترل‌کننده ماشین می‌فرستد و می‌تواند تمام دستورها را هم یکجا دریافت، و در حافظه نگهداری کرده، مرحله به مرحله اجرا کند (شکل ۵ـ۱۰۹).

میز این نوع ماشینها در جهات نشان داده شده در شکل ۵ـ۱۱۰ حرکت می‌کند:

مهمترین مزایا و معایب سیستمهای NC و CNC

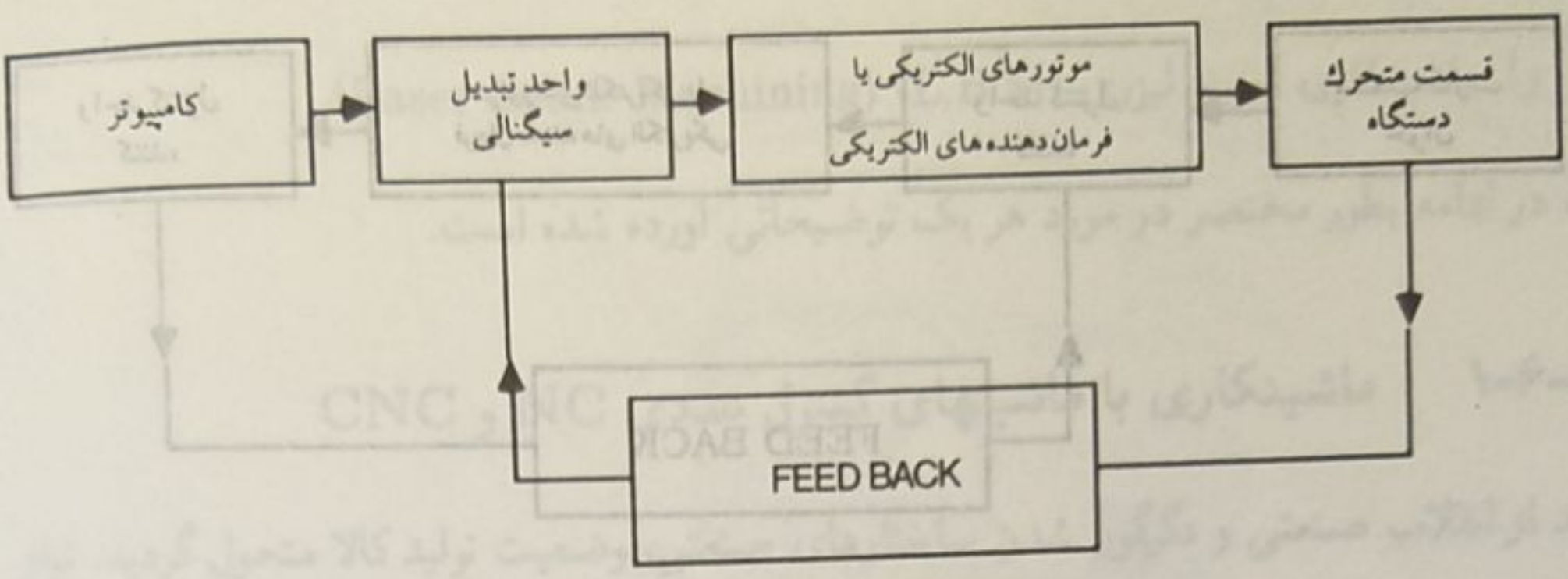
از مزایای عمده این سیستمها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) از این ماشینها برای زمانی که دقت زیاد و ظرافت نیاز است و نیز قطعاتی که به‌دلیل حساسیت زیاد با ماشینهای دیگر قابلیت ماشینکاری کمی دارند، استفاده می‌شود.

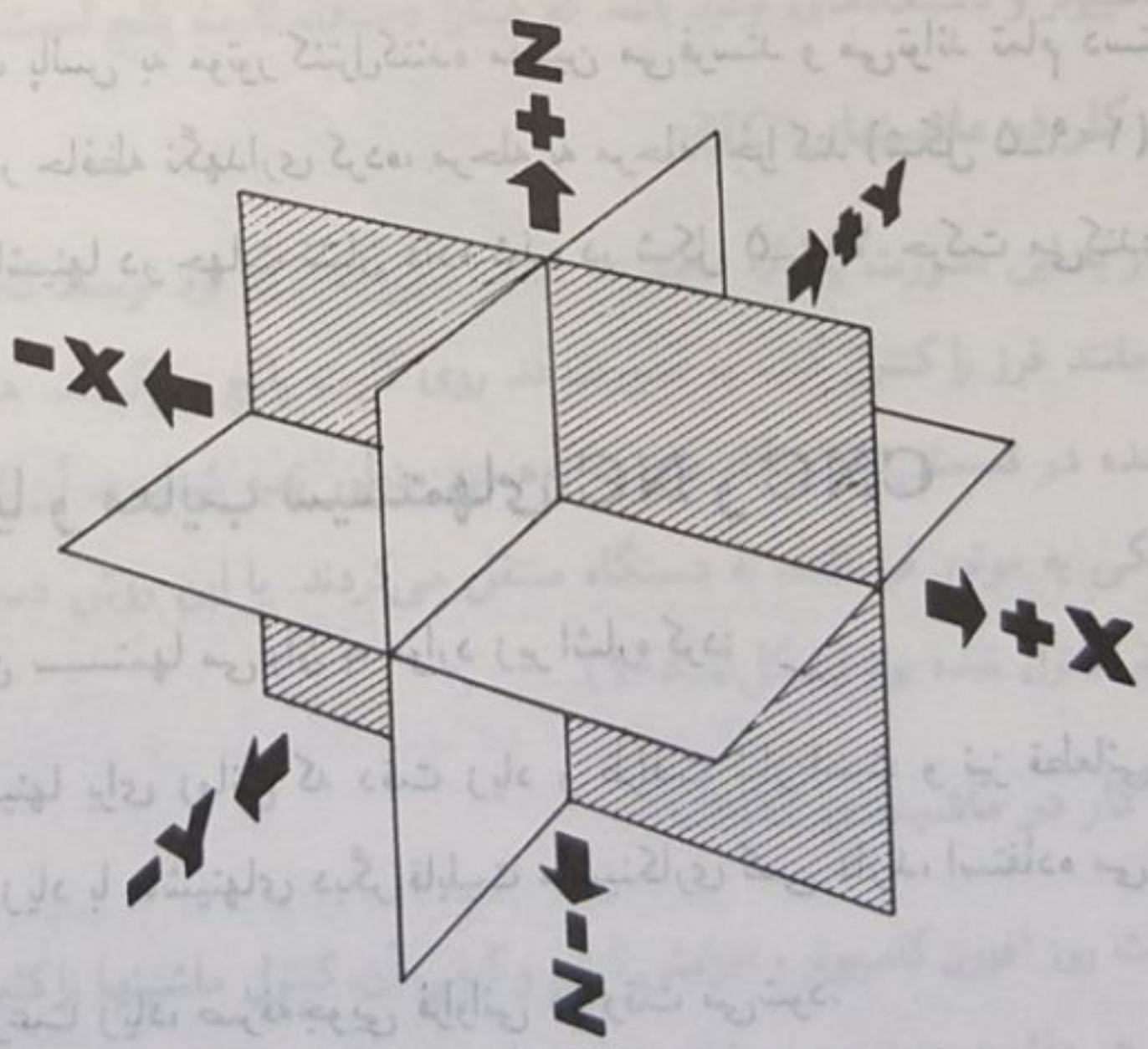
ب) به دلیل سرعت زیاد، صرفه‌جویی فراوانی در وقت می‌شود.

ج) به دلیل اینکه دارای حرکت سه بعدی است، قدرت مانور زیادی دارد.

د) برای تولیدهای انبوه مناسب است چرا که برنامه تولید را می‌توان یک بار به کامپیوتر و برای تمام قطعات از آنها یکسان استفاده کرد.



شکل۵-۱۰۹: شماتیک اجزای ماشین CNC



شکل۵-۱۱۰: جهات حرکت میزکار CNC روی محور مختصات

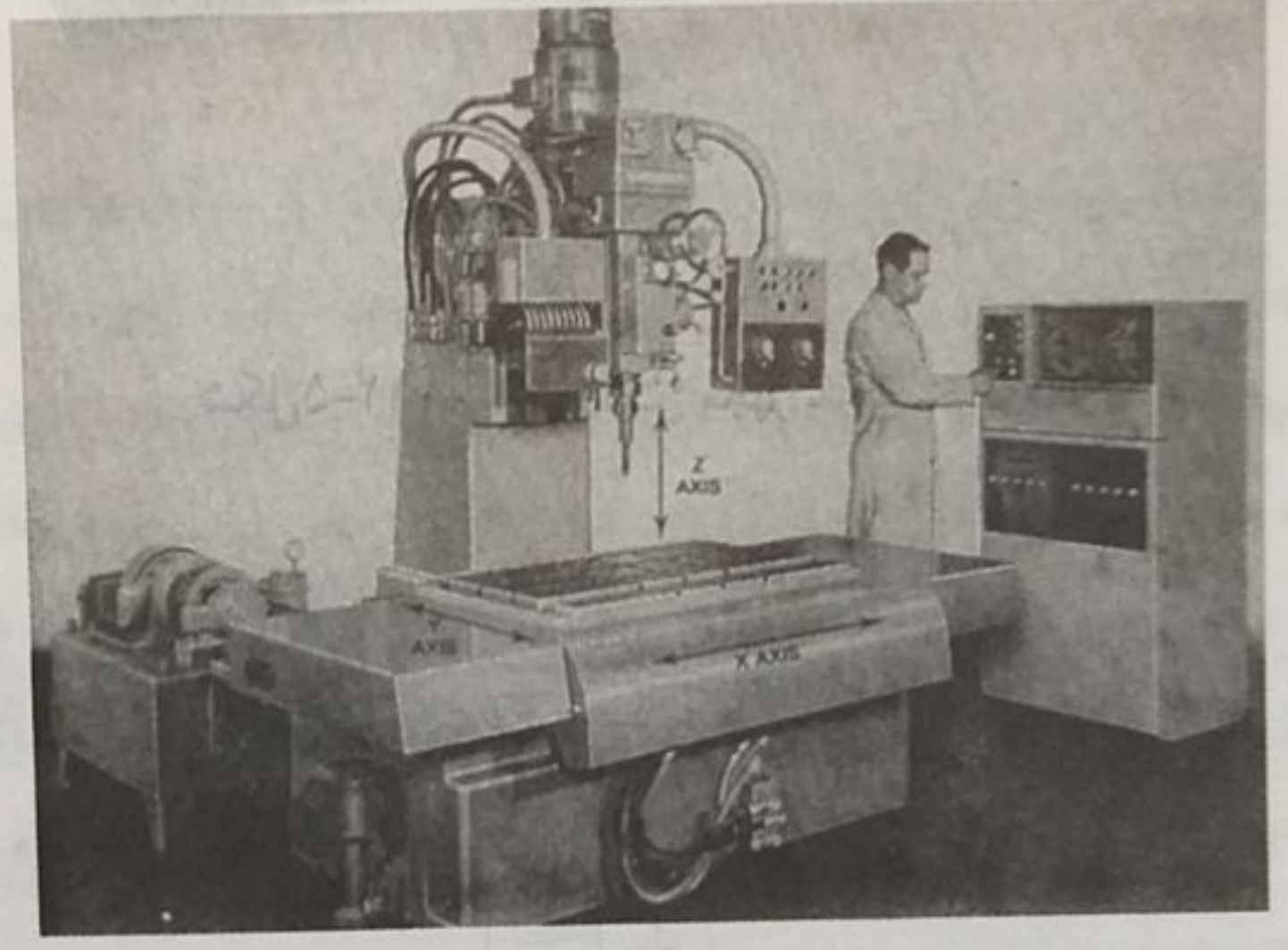
هـ) هنگام کار با دستگاه به فردی با تخصص کافی نیاز نیست.

اما این سیستمها معایب عمده‌ای هم دارند هم دارد که عبارتند از:

الف) هزینه نسبتاً زیاد تولید قطعات و تعمیر و نگهداری پیچیده‌تر

ب) مهارت در برنامه‌ریزی قطعات و آموزش در این مورد.

سیستمهای NC و CNC را می‌توان در ماشینهای دریل، فرزکاری، سنگزنی ... به کاربرد. در شکلهای زیر، نمونه‌هایی از کاربرد آنها در این ماشینها مشاهده می‌شود (شکلهای۵ـ۱۱۱ الی ۵ـ۱۱۳).



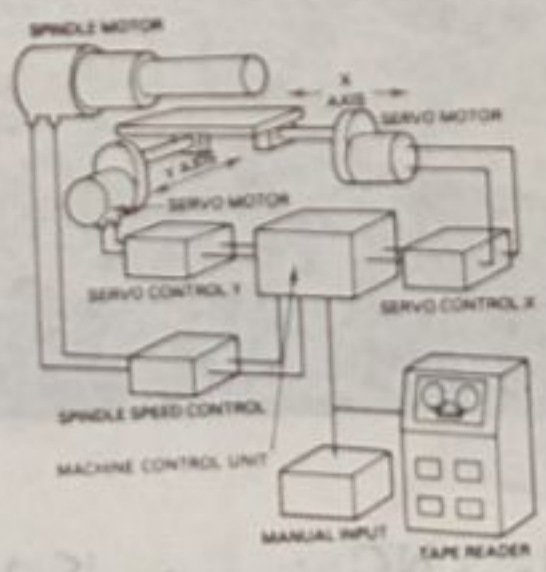
شکل۵-۱۱۱: کاربرد سیستم NC در ماشینهای سوراخکاری

۵-۶-۲ ماشینکاری باماشینهای E.D.M (Electro Discharge Machining)

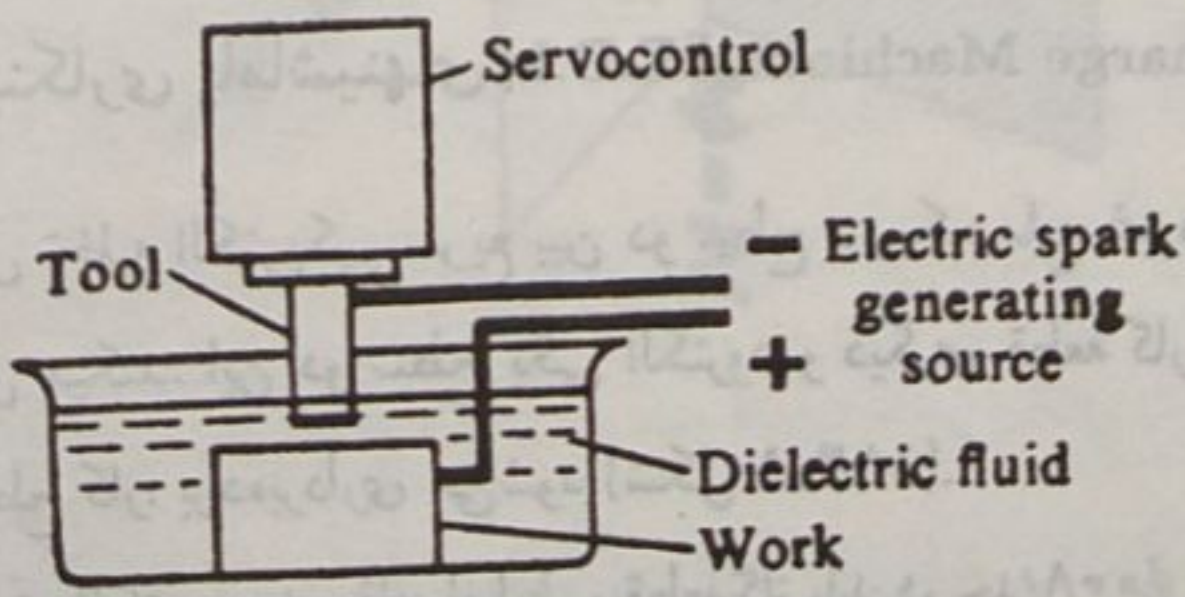
این ماشینها براساس تخلیه الکتریکی سریع بین دو سطح در یک مایع غیرهادی (دی‌الکتریک) با فرکانس بالا عمل میکند. این دو سطح یکی الکترود و دیگری قطعه کار است که در اثر این عملیات از روی سطح کار، براده‌برداری می‌شود (شکل ۵ـ۱۱۴).

در شماتیک فوق، الکترود یعنی فاصله ابزار و قطعه کار باید در حد ۰۰۱/۰اینچ ثابت نگهداشته شود که برای انجام آن از کنترل کننده سلنوئیدی استفاده می‌شود (شکل ۵ـ۱۱۵).

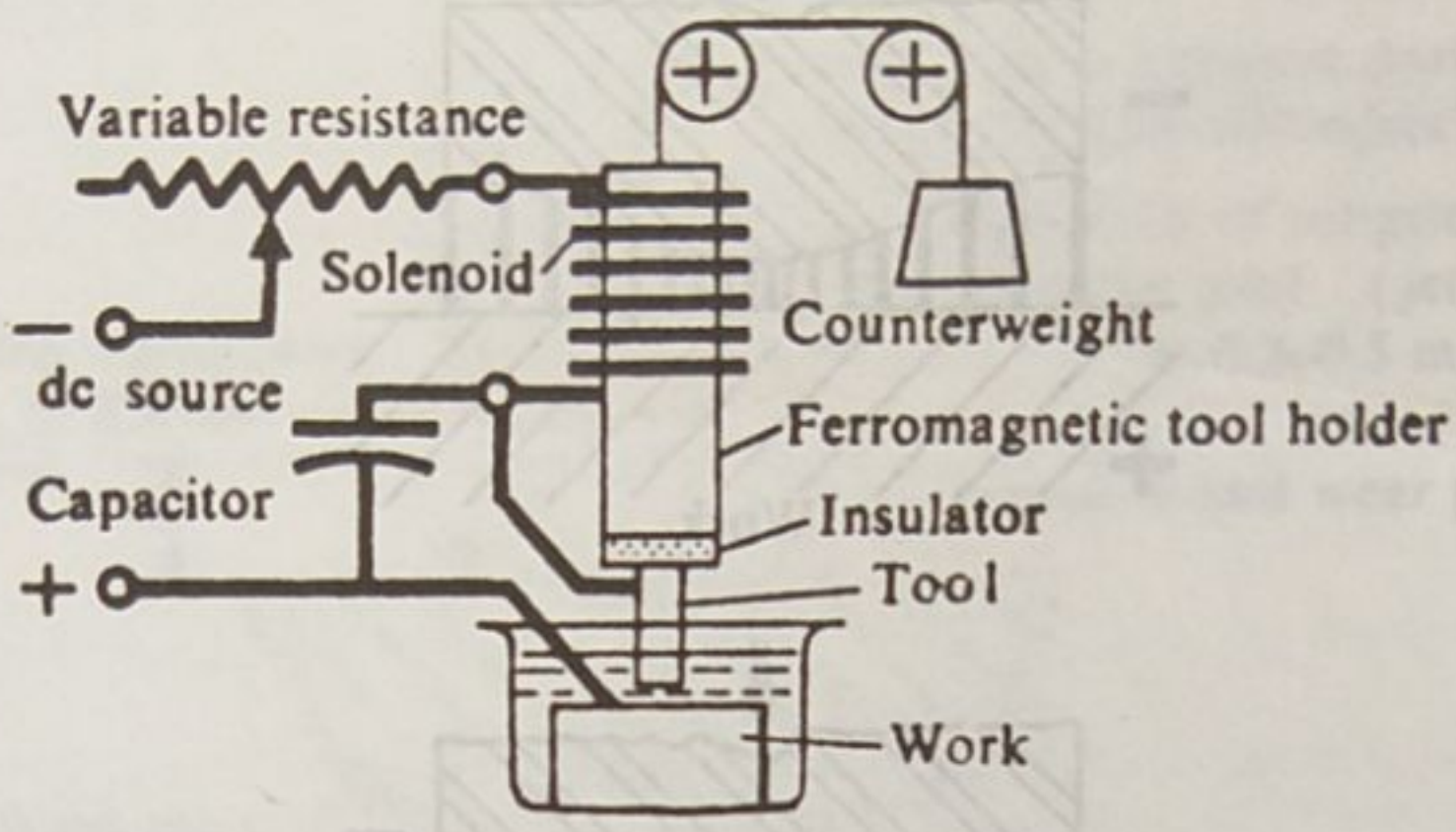
شکل۵-۱۱۲: ماشین تراش مجهز به سیستم CNC



شکل۵-۱۱۳: ماشینهای NC زمانی استفاده می‌شوند که میزان تولید نسبتاً کم، و عملیات انجام شده روی قطعه نسبتاً زیاد بَاشد



شکل۵-۱۱۴: شماتیک ساده‌ای از عملیات E.D.M



شکل۵-۱۱۵: شماتیک کنترل‌کننده سلنوئیدی در عملیات E.D.M

مایع دی‌الکتریک می‌تواند هر مایع عایقی باشد؛ مثل تری‌اتیل گلیکول یا آب خالص و یا . . . که البته میزان براده‌برداری در هر کدام فرق می‌کند. این مایعات باید وسکوزیته کمی داشته باشد تا به راحتی قابل پمپاژ باشد. مایع دی‌الکتریک در عملیات به عنوان مایع خنک‌کننده، عایق بین ابزار و قطعه کار، کمک نمودن در شروع جرقه‌زنی و محدود کردن این جرقه‌ها در یک مسیر خاص عمل می‌کند. این مایع ضمن عمل تبخیر شده، دوباره به حالت خود باز می‌گردد. از آنجا که این روش دقت عمل زیادی دارد، از آن برای بازسازی ابزار، سوراخکاری سوراخهای کم عمق، ماشینکاری قالبهایی که در آهنگری و اکستروژن کاربرد دارند و صیقلی کردن سطوح داخلی، استفاده می‌شود.

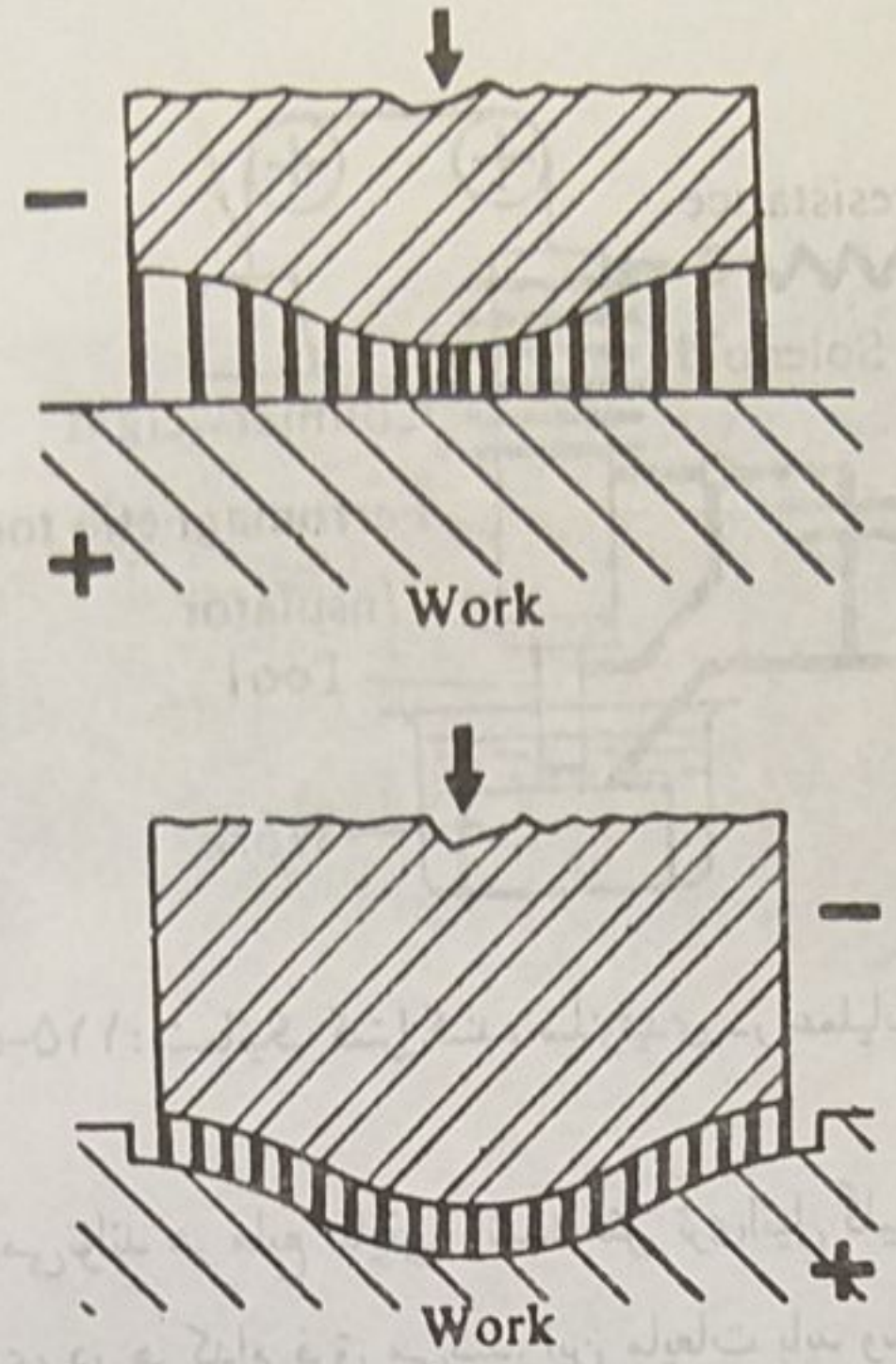
- **اجزای ماشینهای E.D.M**

اجزای کلی این ماشینها عبارتند از:

الف) قسمت تولید نیرو که علاوه بر اینکه انرژی لازم را برای تخلیه الکتریکی بین دو سطح فراهم می‌سازد، مقداری انرژی نیز برای کنترل اتوماتیک دستگاه فراهم می‌سازد.

ب) قسمت کنترل‌کننده که فاصله بین کاتد (الکترود منفی یا ابزار) را با آند (قطعه کار یا قطب مثبت) ثابت نگه می‌دارد.

ج) قسمت نگهدارنده که قطعه کار را برای انجام کار بر روی آن، ثابت و محکم می‌کنند (شکل ۵ـ۱۱۶).



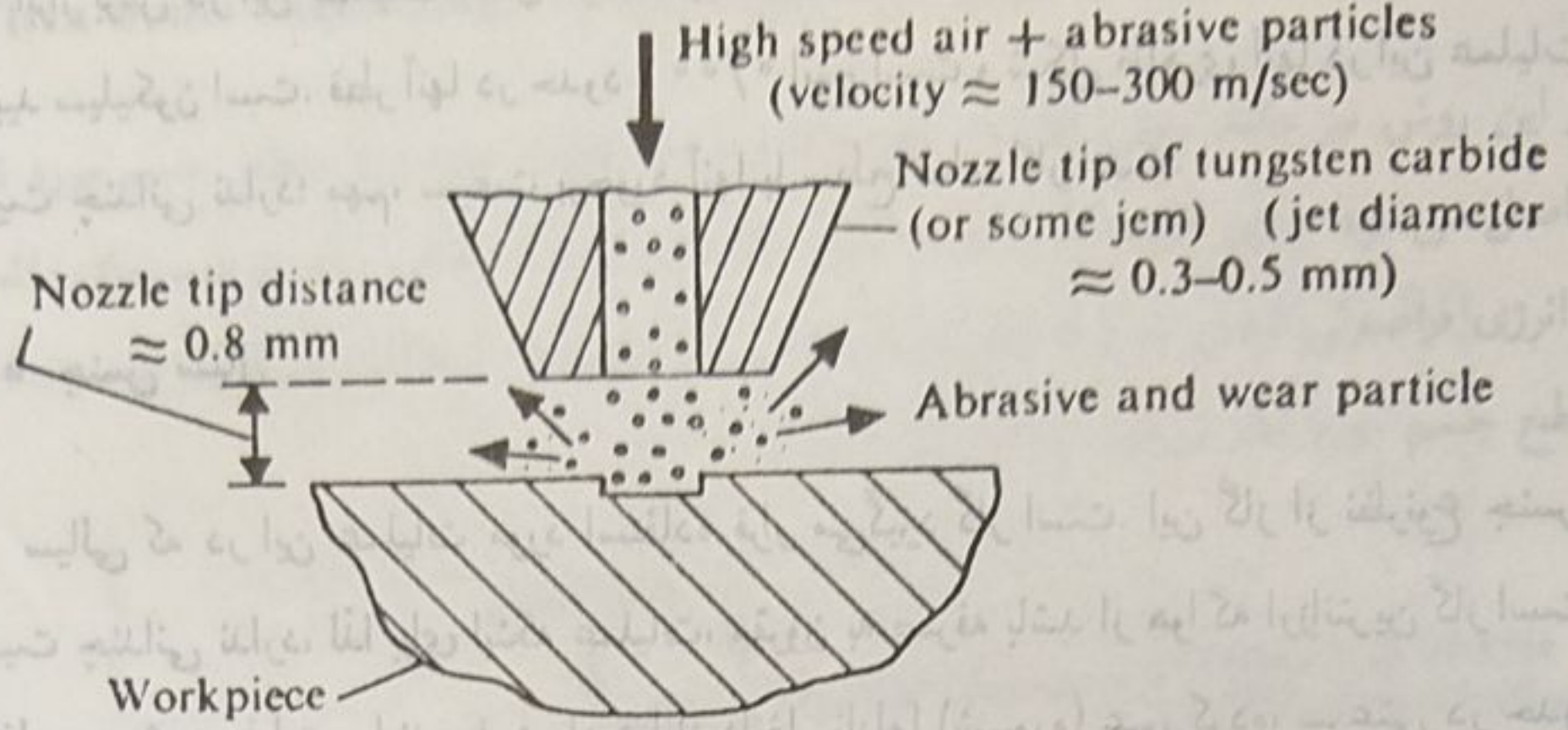
شکل۵-۱۱۶شماتیکE.D.M (در حالت تخلیه الکتریکی)

از این جهت الکترود منفی (کاتد) به عنوان ابزار برش انتخاب شده است که این فلزات جنس نسبتاً محکمتری نسبت به آند یا قطعه کار دارند. جنس آنها معمولاً ازکاربید تنگستن، مس، گرافیت و تنگستن نقره است.

۵-۶-۳ ماشینکاری باجت مواد ساینده. Absasive jet Machining (A.J.M)

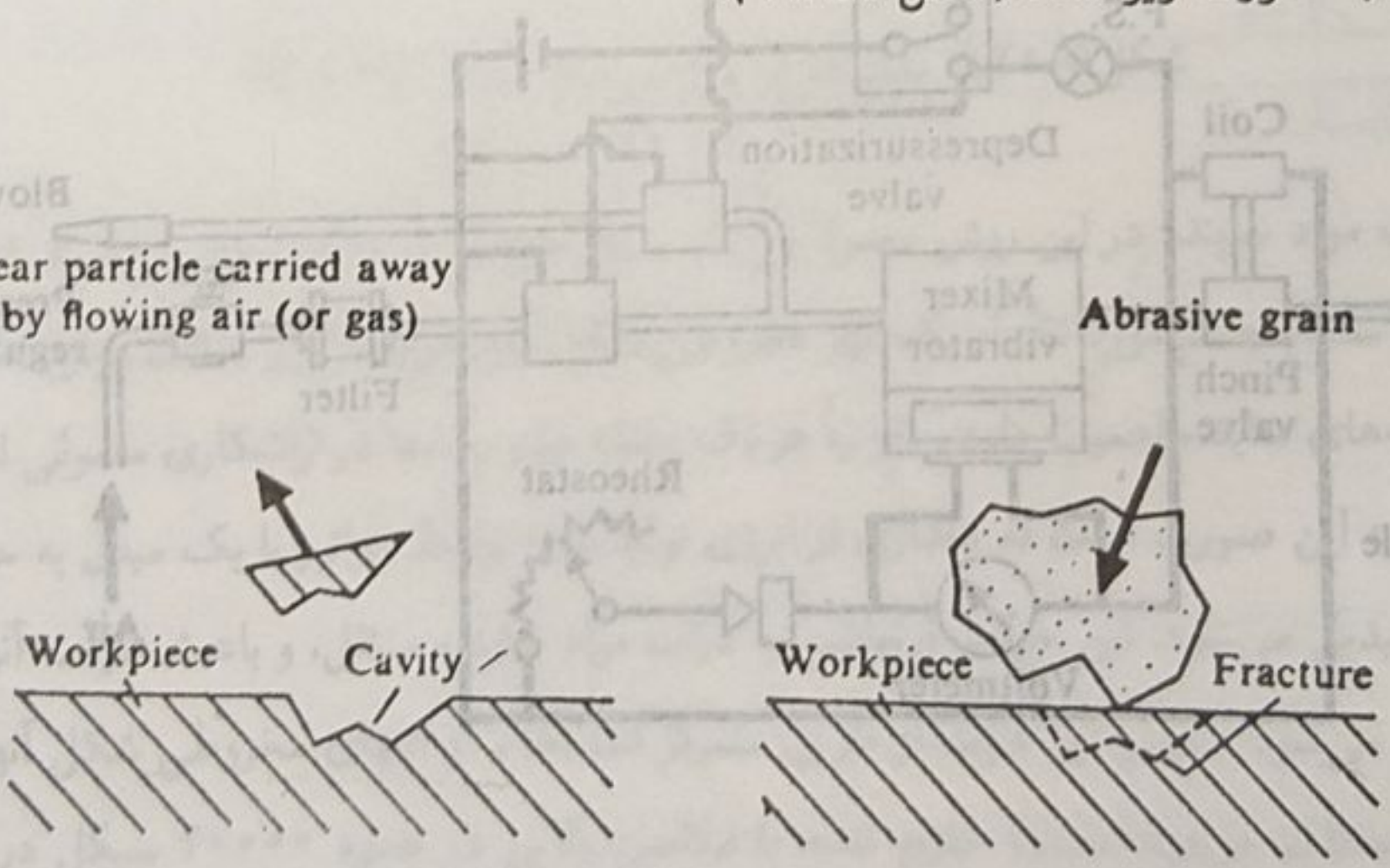
از این روش در ماشینکاری مواد سخت و شکننده مانند شیشه و سیلیکان و . . . . استفاده می‌شود. این روش به صورت سرد صورت می‌گیرد و در آن گازهایی برای خنک کردن سطح کار استفاده می‌شود لذا در این عملیات گرمایی مشاهده نمی‌شود. در شکل ۵ ـ ۱۱۷ شمای ساده‌ای از ماشینهای جت مواد ساینده دیده می‌شود.

روش عملیات این گونه است که ذرات ساینده که در بستر میان گازی هستند از دهانه نازل خارج شده، با سرعت به سطح قطعه کار خورده، باعث براده‌برداری از آن می‌شود. نوع انرژی که در این روش مورد استفاده واقع می‌شود، انرژی مکانیکی است که به طریقه سایشی به فشار تبدیل



شکل۵-۱۱۷: ماشینکاری باجت مواد ساینده

شده است و باعث براده‌برداری از سطح کار و ایجاد فرسایش در سطح می‌شود. مراحل کار در این عملیات به صورت زیر است (شکل ۵ـ۱۱۸).



الف. شکستن سطح قطعه کار ب. تشکیل حفره یا سوراخ

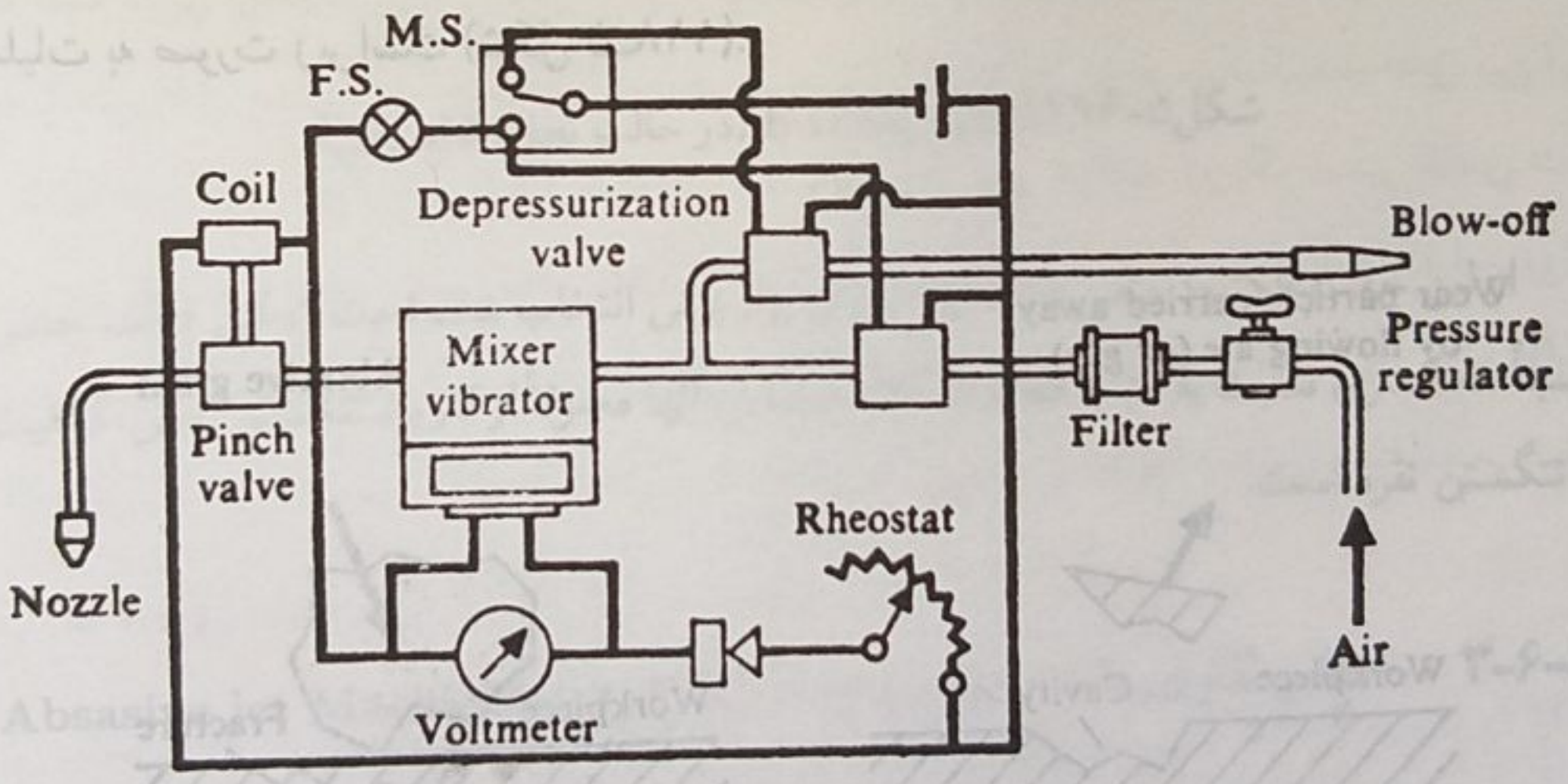
شکل۵-۱۱۸: مراحل براده‌برداری در A.J.M

- ابزار برش

ابزار برش در این عملیات همان مواد ساینده هستند که معمولاً از جنس تری‌اکسیدآلومنیوم یا کاربید سیلیکون است. قطر آنها در حدود ۰/۰۰۱ اینچ است و شکل ظاهری آنها در این عملیات، اهمیت چندانی ندارد؛ مهم، سرعت برخورد آنها با سطح قطعه کار است.

- **جنس سیال**

سیالی که در این عملیات مورد استفاده قرار می‌گیرد گاز است. این گاز از نظرنوع جنس، اهمیت چندانی ندارد، لذا برای اینکه عملیات، مقرون به صرفه باشد از هوا که ارزانترین گاز است، استفاده می‌شود. ذرات ساینده به همراه هوا از داخل نازلها (شیپوره) عبور کرده، سرعتی در حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ فوت بر ثانیه پیدا می‌کنند که در حدود سرعت صوت است. و به سطح قطعه کار برخورد می‌کنند (شکل ۵ـ۱۱۹).



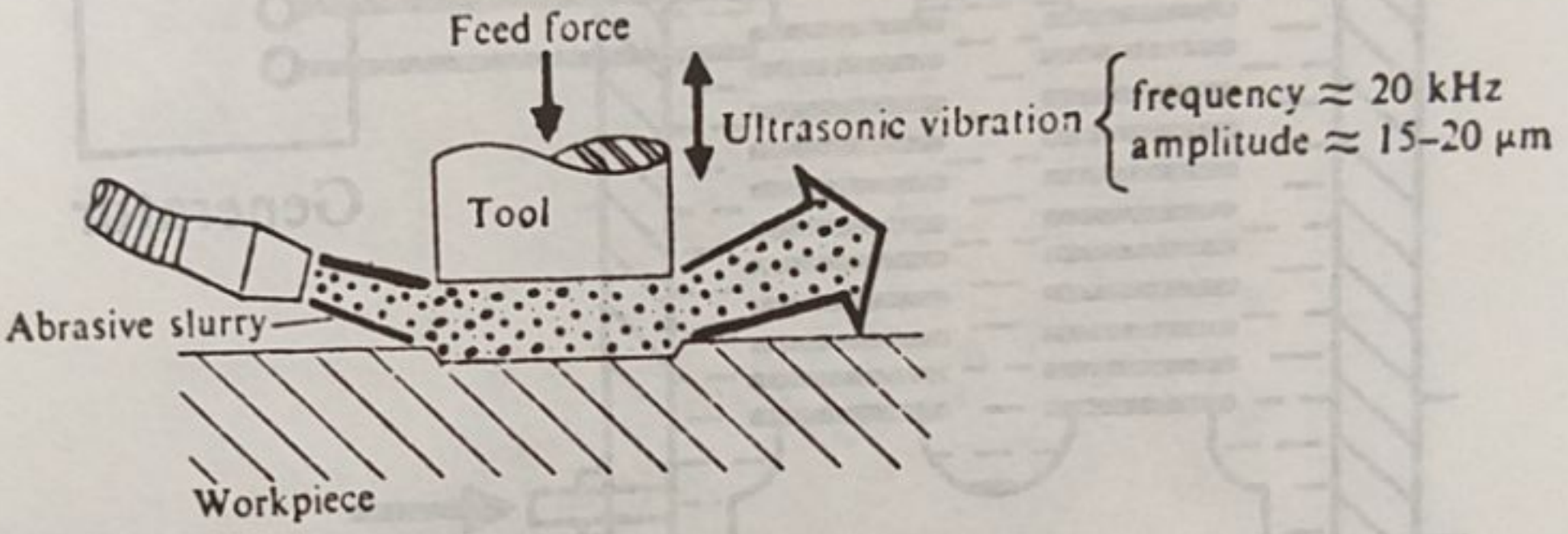
شکل۵-۱۱۹: دیاگرام شماتیک ماشینکاری باجت مواد ساینده

دهانه خروجی شیپوره در حدود ۰/۰۰۳ تا ۰/۰۱۸ اینچ است.

در نوع دیگری از این ماشینها، که برای ایجاد شکافها یا شیارها به کار می‌روند، از آب به عنوان بستر سیال استفاده می‌شود. در این عملیات فشار آب تا ۴۰۰ MPa رسیده و از شیپوره نازل عبور، و به سطح جسم برخورد می‌کند.

۵-۶-۴ ماشینکاری به‌روش فراصوتی (U.S.M). (Ultra Sonic Machining)

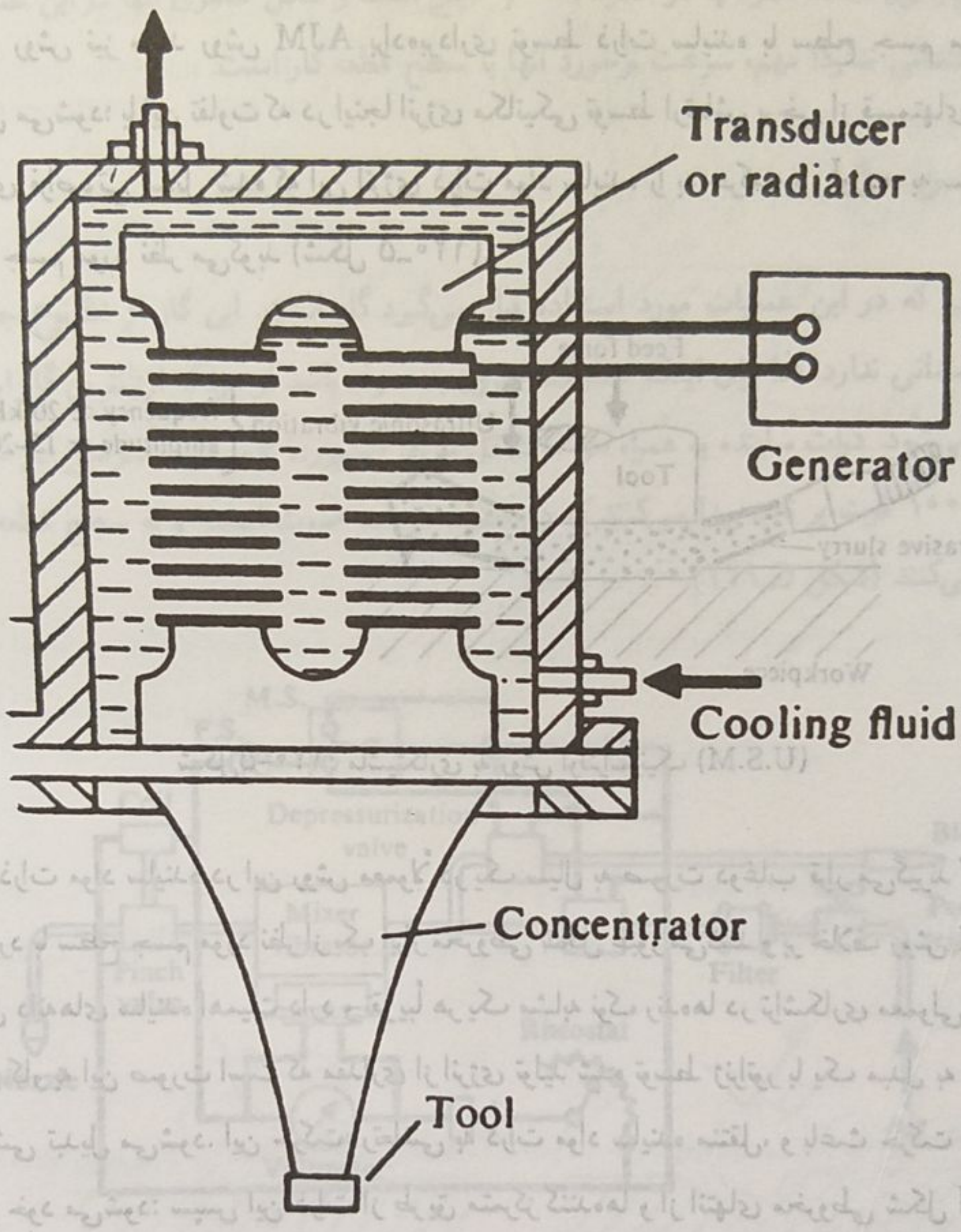
در این روش نیز مانند روش AJM براده‌برداری توسط ذرات ساینده با سطح جسم مورد نظر حاصل می‌شود؛ با این تفاوت که در اینجا انرژی مکانیکی توسط ارتعاش برخی از قسمتهای ماشین به انرژی فراصوتی تبدیل شده که این انرژی ذرات مواد ساینده را به حرکت در آورده، به سرعت به سطح جسم مورد نظر می‌کوبد (شکل ۵ـ۱۲۰).



شکل۵-۱۲۰: ماشینکاری به روش اولتراسونیک (U.S.M)

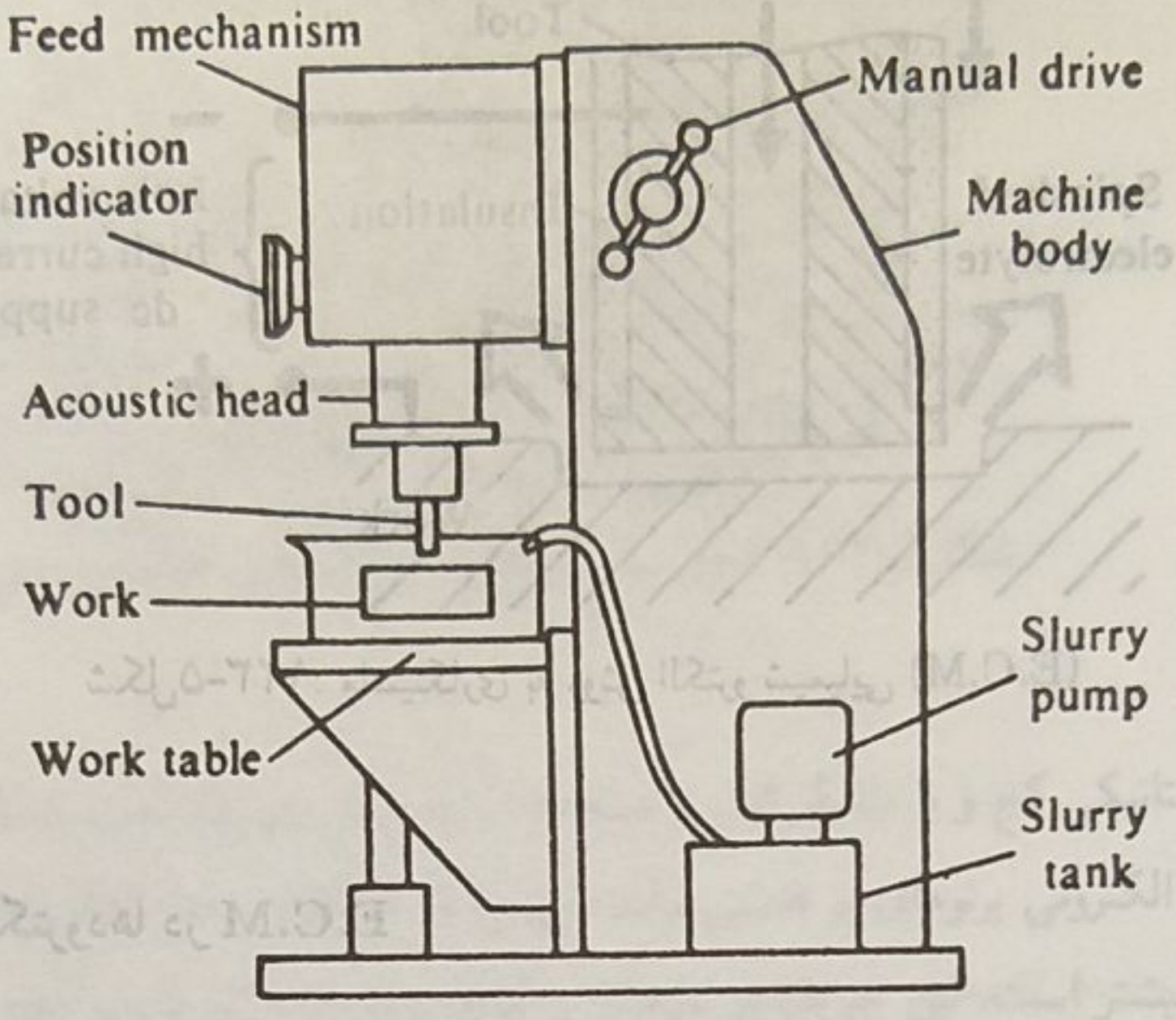
ذرات مواد ساینده در این روش معمولاً در یک سیال به صورت دوغاب قرار می‌گیرند که برای برخورد با سطح جسم مورد نظر از یک ابزار مخروطی شکل عبور می‌کنند و بر خلاف روش AJM، شکل دانه‌های ساینده اهمیت دارد و تقریباً هر یک مشابه نوک رنده‌ها در تراشکاری معمولی است. روش کار به این صورت است که مقداری از انرژی تولید شده توسط ژنراتور با یک مبدل به حرکت ارتعاشی تبدیل می‌شود. این حرکت ارتعاشی به ذرات مواد ساینده منتقل، و باعث حرکت آنها در بستر خود می‌شود: سپس این ذرات از طریق متمرکز کننده‌ها و از انتهای مخروطی شکل آنها (به شکلهای مختلف موجود است.) خارج شده، با فرکانس بالایی در حدود ۲۰۰۰۰ سیکل در ثانیه به سطح قطعه کار برخورد کرده، براده‌برداری می‌کند (شکل ۵ـ۱۲۱).

این ماشینها یک قسمت مولد انرژی دارند که انرژی تولید می‌کند و معمولاً ژنراتورهایی هستند که با برق AC کار می‌کنند. همچنین مبدلهایی که این انرژی را به حرکت ارتعاشی تبدیل کند و ابزار، که با لرزش خود ذرات ساینده را به سطح جسم می‌کوبد و جنس آنها معمولاً از فلزات نشکن، فولاد زنگ نزن و فولادهای با کربن زیاد است. کاربرد این روش بیشتر در ماشینکاری مواد سخت و شکننده است، اما نباید از آن برای براده‌برداری به مقدار زیاد استفاده کرد. این روش، قابلیت



شکل۵-۱۲۱: دیاگرام ماشینکاری به روش (U.S.M)

ایجاد سوراخها و شیارهای تو در تو و پیچیده را دارد و به همین جهت نیز از آن بیشتر در ساخت قالبهای فلزی و ریخته‌گری و ایجاد نقش روی جواهرات استفاده می‌شود (شکل ۵ـ۱۲۲).



شکل۵-۱۲۲: ماشین دریل اولتراسونیک

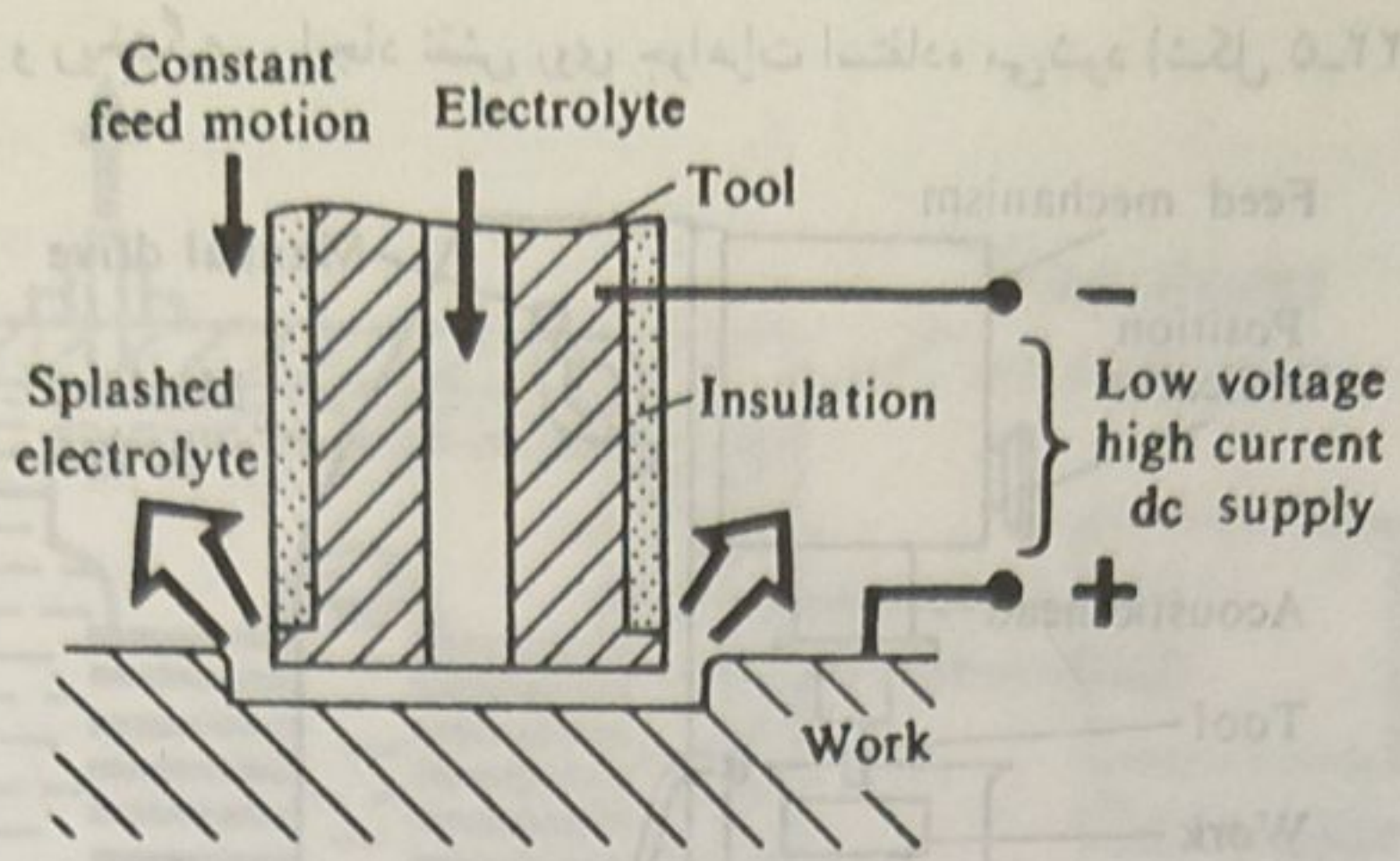
ماشینکاری به روش U.S.M قابلیت رقابت با دیگر روشهای ماشینکاری غیرسنتی را از نظر حجم براده ندارد اما از نظر توانایی تولید شکلهای مختلف، قدرت رقابت با همه آنها را دارد. معمولاً مواد غیرفلزی، که توسط سایر روشهای براده‌برداری قابل ماشینکاری نیستند، مناسب ماشینکاری به روش U.S.M هستند.

۵-۶-۵ ماشینکاری به‌روش الکتروشیمیایی

(Electro Chimical Machining)(E.C.M)

ماشینکاری با ماشینهای الکتروشیمی یکی از مهمترین روشهای ماشینکاری مخصوص است. اصول عملیات در این روش این گونه است که بین دو الکترود، که یکی ابزار یا قطب منفی یا کاتد و دیگری قطب مثبت یا آند و یا قطعه کار است، جریان الکتریکی مستقیم ایجاد می‌شود؛ در حالی که هر دو الکترود داخل یک محلول الکترولیت قرار گرفته‌اند و هنگام این عمل، ذرات فلزی از

قطعه کار برداشته شده و در محلول الکترولیت پراکنده می‌شوند (شکل ۵ـ۱۲۳).



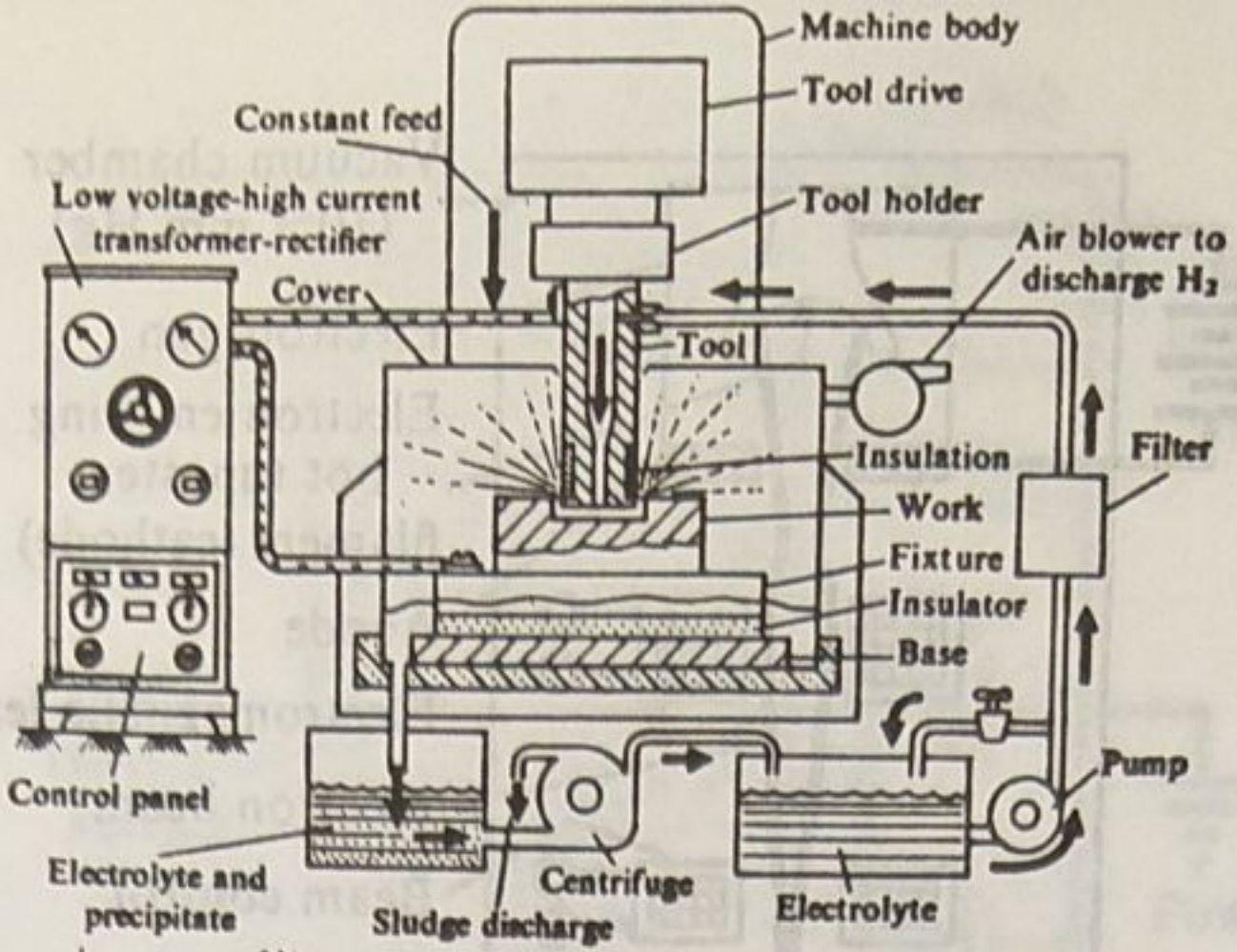
شکل۵-۱۲۳: ماشینکاری به روش الکترو شیمیایی (E.C.M)

نوع جنس الکترودها در E.C.M

جنس این الکترودها یا از مس است که در آن هدایت الکتریکی زیاد است و یا زمانی که نیاز به مقاومت زیاد باشد از فولاد زنگ نزن است. از فولاد زنگ نزن همچنین زمانی که به فشار الکترو شیمی زیاد ی هم نیاز باشد استفاده می‌شود همچنین این الکترودها باید قابل تراش بوده، از استحکام زیادی نیز برخوردار باشد. به دلیل اینکه در یک محیط خورنده قرار می گیرد باید در برابرخوردگی هم مقاوم باشد. فاصله تراش در بین این الکترودها باید حتی الامکان به هم نزدیک باشد. چرا که هر چه نزدیکتر باشد، جریان الکتریکی کمتری مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً این فاصله بین $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ تا $\frac{۲}{۱۰۰۰}$ اینچ است. هر چند باید این فاصله را حتی الامکان کم در نظر گرفت لازم است به این نکته هم توجه شود که برخورد قطعه کار و ابزار، یعنی دو قطب مثبت و منفی، باعث ایجاد قوس الکتریکی و صدمه خوردن هر دو الکترود می‌شود. این ماشین در شکل (۵ـ۱۲۴) نمایش داده شده است.

۵-۶-۶ ماشینکاری با پرتوالکترونی(E.B.M)(Electron Beam Machining)

اساس این روش، این گونه است که به الکترونها شتاب داده، به صورت یک پرتو نازک در یک حوزه الکتریکی در می‌آورند. پرتو شکل یافته را می‌توان توسط حوزه‌های الکترو مغناطیسی و

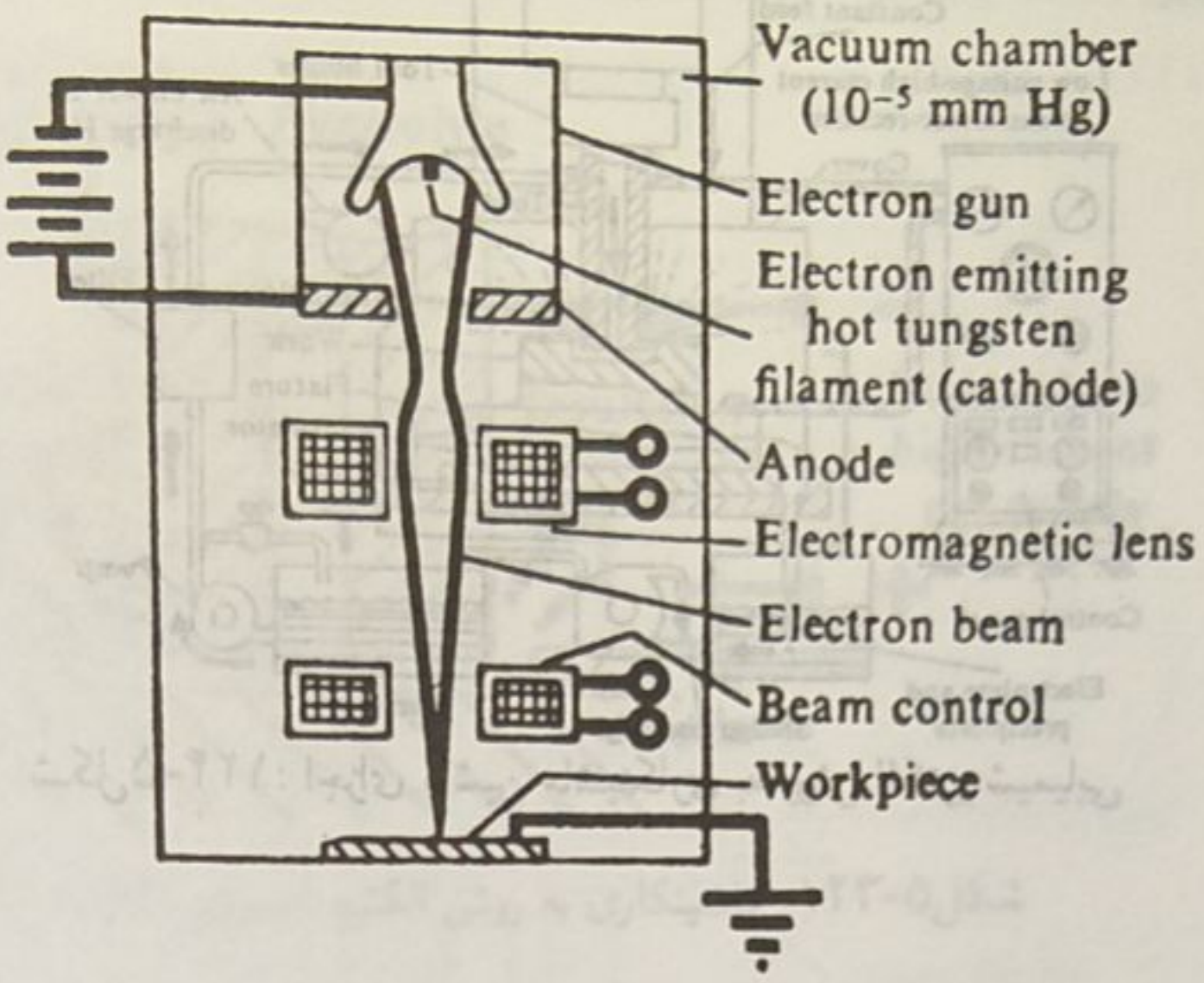


شکل۵-۱۲۴: اجزای ماشین ماشینکاری به روش الکترو شیمیایی

الکترواستاتیکی کج و یا متمرکز کرد. با استفاده از این روش در ماشینهای برشکاری و جوشکاری با تابش الکترونی پرتوهای پر قدرتی تولید می‌شود که در آنها سرعت الکترونها از نصف سرعت نور نیز بیشتر است. این جریان پر سرعت بر نقطه بسیار کوچکی تابیده شده، از آنجا به داخل ماده‌ای که قرار است کار روی آن انجام شود، نفوذ می‌کند. در اینجا انرژی جنبشی الکترونی به انرژی حرارتی تبدیل شده، باعث ذوب و یا تبخیر ماده در آن قسمت می‌شود (البته بستگی به این امر دارد که جوشکاری مد نظر باشد یا عملیات برش) برای جلوگیری از پراکندگی پرتوهای الکترونی در برخورد بامولکولهای گازی (شکل۵ـ۱۲۵) این عملیات در خلاء انجام می‌گیرد.

- **مزایا و معایب این روش:**

با عملیات E.B.M فقط می‌توان کارهای کوچک و برشهای کوتاه انجام داد، در غیر این صورت کار، غیر اقتصادی خواهد بود. از مزایای این روش این است که به وسیله آن می‌توان برشهای خیلی دقیق و حساس را انجام داد. همچنین چون از هیچ ابزار فشاری در آن استفاده نمی‌شود می‌توان آن را براحتی به فعالیتهای اتوماتیک تطبیق داد. در مته‌کاری و سوراخکاری برخی از سوراخها، که ماشینکاری آنها گران تمام می‌شود و تولید قالبهای کشش سیم و روزنه‌های عبور اشعه‌های نوری از این روش استفاده می‌گردد.



شکل۵-۱۲۵: ماشینکاری با پرتو الکترونی(E.B.M)

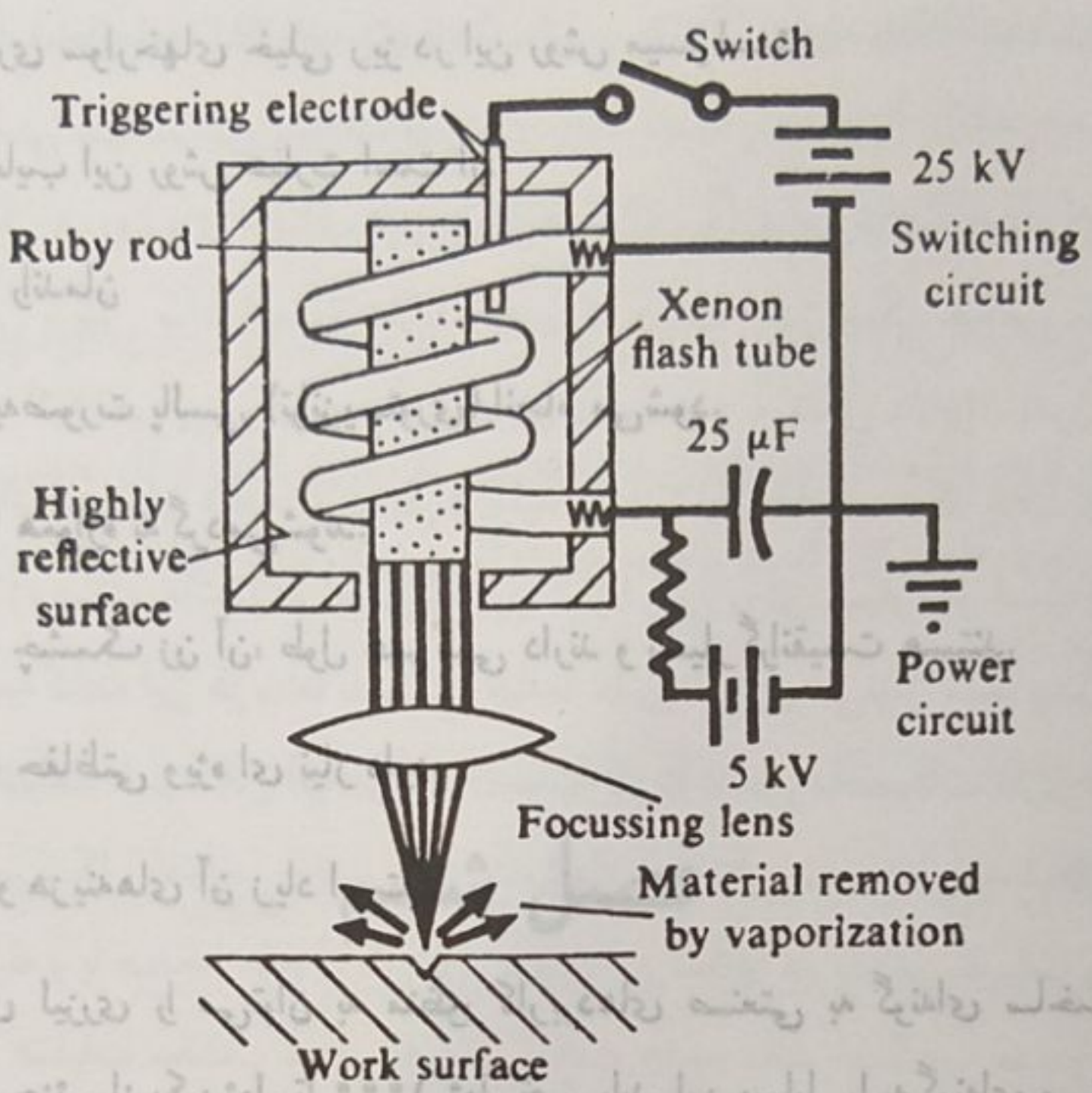
۵-۶-۷ ماشینکاری با پرتو لیزری(L.B.M) (Lease Beam Machining)

با وجود اینکه در برخی از کاربردها لیزر به عنوان یک آمپلی‌فایر نوری به کار برده می‌شود، کاربرد اصلی آن به صورت یک اسیلاتور اپتیکی است که برای تبدیل انرژی به فرم پرتوی از تشعشعات اپتیکی منظم شده باشد. اصول کار در این روش این گونه است که در یک اتم الکترونهای سطح پایین می‌توانند به سطوح بالاتری از انرژی راه یابند. وقتی این عمل انجام شود اتم در حال تهیج بوده و ممکن است به صورت خود به خودی انرژی جذب شده برای این امر را متشعشع کند. در همین زمان الکترون به سطح قبلی خود بازگشته، یا اینکه به حد متوسطی می‌رسد. در این حالت انرژی تشعشع یافته منتشر می‌شود و طول موجی دقیقاً برابر طول موج، انرژی انتشاری دارد، در نتیجه انرژی انتشاری تقویت می‌شود. این اصل، مبنای عملکرد ماشینهایی است که به وسیله پرتو لیزری، عملیات ماشینکاری را انجام می‌دهند (شکل ۵ـ۱۲۶).

یکی از عوامل بازدارنده در استفاده از لیزر مخارج زیاد آن است ولی موارد استفاده از لیزر در صنعت باید بر دو اصل زیر مبتنی باشد:

۱) لیزر می‌تواند کار برتری را از نظر کیفیت ارائه دهد.

۲) این وسیله تنها ابزاری است که توانایی انجام کارهای سخت را دارد. مخارج عملیاتی لیزر



شکل۵-۱۲۶: شماتیک عملیات ماشینکاری با پرتو لیزری (L.B.M)

شامل هزینه تعویض و تعمیر لامپهای چشمک‌زن، خازنها، میله‌های یاقوتی سیستمهای اپتیکی و منبع قدرت است که اساسی‌ترین آن تعویض لامپ چشمک‌زن است.

مزایا و معایب ماشینکاری به روش L.B.M:

عمده مزایای این روش عبارت است از:

۱) تماس مستقیم بین ابزار کار و قطعه کار وجود ندارد.

۲) موادی که از نظر اپتیکی شفاف و نازکند را جوش می‌دهد و ماشینکاری می‌کند.

۳) برای ماشینکاری نواحی غیر قابل دسترس، مفید است.

۴) هر نوع ماده‌ای را می‌تواند ذوب یا تبخیر کند.

۵) مواد شکننده و غیر فلز و سخت را ماشینکاری می‌کند.

۶) ماشینکاری سوارخهای خیلی ریز در این روش میسر است.

محدودیتها و معایب این روش عبارت است از:

۱) کم بودن راندمان

۲) عملیات‌به‌صورت پالسی (ترانزیستوری) انجام می‌شود.

۳) سوراخها همواره ته گردمی‌شوند.

۴) لامپهای چشمک زن آن، طول عمر کمی دارند و بسیار گرانقیمت هستند.

۵) اقدامات حفاظتی ویژه ای نیاز دارد.

۶) مخارج و هزینه‌های آن زیاد است.

سیستمهای لیزری را می‌توان به منظور کاربردهای صنعتی به گونه‌ای ساخت که انرژی خروجی‌شان از جزئی از یک ژول تا ۱۰۰۰ ژول تغییر یابد. این وسایل را به گونه‌ای می‌توان طراحی کرد که پرسنل و کارگرانی که برای به کارگیری میکروسکوپ و یا دستگاه‌های دیگر آموزش داده می‌شوند، بتوانند به همان راحتی کار با آنها را یاد بگیرند.