

## جوشکاری بهتر با "تنگستن"

مدیریت آموزش، پژوهش و فناوری ایمیدرو

نام تنگستن (ولفرامیت Tungsten & Wolframite) از واژه سوئدی (Lang slen) به معنای سنگ سنگین گرفته شده است که اولین بار در سال ۱۷۷۹ توسط Peter Woulfe از نام آلمانی Wolfram اقتباس شد. تنگستن در سال ۱۷۸۱ میلادی کشف و در سال ۱۷۸۳ میلادی استخراج گردید.



# Tungsten

شکل ۱. سنگ تنگستن

تنگستن برای اولین بار در سال ۱۸۴۷ مورد استفاده قرار گرفت، اما در سال ۱۸۹۸ با کشف اینکه فولاد محتوی آن برای به سرعت بریدن سایر فولادها می‌تواند استفاده شود، مانند یک آلیاژ فولادی مورد استفاده عمومی قرار گرفت، بطوری که امروزه یک آلیاژ فلزی اساسی محسوب می‌شود. استعمال عمده تنگستن برای به سهولت بریدن فولادهاست بطوری که حتی در حرارت بالا نیز سختی آنها باقی می‌ماند. در سال ۱۸۷۱ Carl Wilhelm Scheele ثابت کرد که یک اسید جدید می‌تواند از تنگستنیت ساخته شود. در سال ۱۷۸۳، Fausto Elhuyar و Jose دریافتند که یک اسید در ولفرامیت وجود دارد که با اسید تنگستنی شناسایی شده است. در اسپانیا در این سال موفق به جدا سازی تنگستن از طریق احیای این اسید با ذغال چوب شده‌اند. سالها قبل از اکتشاف عنصر تنگستن (۱۷۸۳)، کانی ولفرامیت در معدن قلع ساکسونی (Saxony) و بوهمیا (Bohemia) شناخته شده بود. این کانی که برای اولین بار در ۱۸۷۴ توسط لازاروس ارکر (Lazarus Ercker) شرح داده شد بعنوان یک کانسنگ قلع حاوی آرسنیک و آهن تصور می‌شد. در سال ۱۷۵۷ یک کان جدید با چگالی ۶ (شیلیت) توسط کرانستد (A.F. Cronstedt) شرح داده شد. کرانستد این کانی را تنگستن نامید (به زبان سوئدی لانگ اسلن Lang slen به معنی سنگ سنگین) و فرض کرد که یک کانی آهن حاوی کلسیم باشد. در سال ۱۷۸۱ شیل (C.W. Scheele) ضمن تجزیه این کانه متوجه حضور کلسیم و اسیدی ناشناخته تا آن زمان شد (در سال ۱۷۸۳) Fausto and Juan José De Elhuyar از کشور اسپانیا با احیای اکسید توسط کربن موفق به تولید عنصر تنگستن از ولفرامیت شدند. آنها این عنصر را ولفرام نامیدند. در ۱۸۲۱ ون لئون هارد (K.C. Van leonhard) نام شیلیت (Scheelite) را برای کانی  $CaWO_4$  پیشنهاد نمود. شیمی حقیقی تنگستن توسط اکسلند (R.Oxland) در ۱۸۷۴

مشخص شد. وی روش تولید تنگستات سدیم، اکسید تنگستن و فلز تنگستن را ابداع کرد.

در ابتدا استفاده از تنگستن بعنوان یک فلز مرکب جهت افزایش سختی استیل به دلیل قیمت بالای آن میسر نبود. پیشرفتهایی که منجر به استفاده صنعتی تنگستن شد در ۱۸۹۰ با تولید WC توسط مرسان (H. Morssan) آغاز گردید. استفاده روز افزون فلزات سخت در صنعت استیل و معدن (تولید انرژی) منجر به افزایش تقاضای تنگستن گردید. به سبب عدم قطعیت وجود منابع تنگستن در شرایط بحرانی و افزایش استفاده مواد متشکله از تنگستن در صنایع نظامی (فلزات سخت، فلزات سنگین تنگستن دار) این عنصر از اهمیت استراتژیک برخوردار گردید.

اگر چه بدلیل کاهش قیمت و تقاضا تعداد زیادی از معادن از سال ۱۹۸۵ بخصوص در کشورهای صنعتی بسته شده اند. تنگستن از نظر اهمیت در رده دوم فلزات دیر گداز پس از مولیبدن قرار می‌گیرد با این وجود این عنصر بعنوان مهمترین فلز دیر گداز در متالورژی پودر به کار برده می‌شود. مورد استفاده جدیدتر تنگستن در تهیه کاربرد تنگستن است که بعد از الماس به عنوان سخت‌ترین عامل برنده شناخته شده است. استفاده از رشته‌های تنگستن در لامپ‌های الکتریکی برای همه شناخته شده است. تنگستن همچنین در کنتاکتهای الکتریکی، دستگاه‌های الکتریکی، رادیو، اشعه

X، مواد رنگی، منسوجات، صفحات زره‌پوش، تفنگها و اسلحه‌های پرتابی نظیر خمپاره و گلوله مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تنگستن به عنوان بیست و ششمین عنصر فراوان در پوسته زمین با فراوانی ۰/۰۰۵٪ می‌باشد. تنگستن فلزی است ضعیف و نادر به رنگ خاکستری فولادی تا سفید قلعی (یاسفید -نقره ای)، با نماد W، عدد اتمی ۸۲، وزن اتمی ۱۸۳/۹۲، وزن مخصوص ۱۹/۳۵ گرم بر سانتی متر مکعب، سختی ۷/۵ در مقیاس موس، که دارای جلا، سنگینی، سختی بسیار بالا، نقطه جوش ۵۹۰۰ درجه سانتیگراد و نقطه ذوب ۳۴۱۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. **تنگستن** بالاترین دمای ذوب را در میان تمام فلزات دارا می‌باشد که تنها از کربن عنصری و مونوکاربیدهای فلزی نیوبوم، زیرکونیوم، تانتالیوم و هافنیم کمتر است. در کنار این خصوصیت منحصر به فرد، انرژی پیوندی بسیار بالا خصوصیات شیمیایی ویژه‌ای را نیز برای این عنصر فراهم نموده است. به عنوان مثال **تنگستن** دارای کم‌ترین فشار بخار، کم‌ترین تراکم پذیری در میان تمام فلزات است. این عنصر همچنین دارای چگالی بسیار بالا، ضریب الاستیسیته بالا، انبساط دمایی پایین و رسانایی دمایی بالا می‌باشد.

اندازه دانه ها و ساختمان آن‌ها تأثیر شدیدی بر خواص مکانیکی **تنگستن** می‌گذارد، به طوریکه این فلز در برابر تغییر شکل دادن مقاومت بالایی داشته و همچنین ضریب بالای الاستیسیته و دمای تبلور مجدد بالایی دارد. در میان عناصر تنها رنیوم دارای مقاومت دمایی بیش‌تر از **تنگستن** است. تنگستن در میان تمامی فلزات تقریباً بالاترین چگالی را دارد. چگالی مواد زینترشده تنگستنی مختلف می‌تواند بسیار متفاوت باشد.

### کاربردهای تنگستن

تنگستن با تولید سالانه ۴۰ میلیون تن و ارزشی در حدود ۵۰۰ میلیون دلار، معمولاً یک فلز آلیاژ آهن به شمار می‌آید، در صورتی که تنها نزدیک به ۶ درصد آن در تولید فولاد مصرف می‌شود. تنگستن توسط شیمیدان سوئدی بنام شئل در سال ۱۷۸۱ میلادی کشف و در پایان قرن نوزدهم برای تهیه آلیاژ مخصوص به کار رفت.

نقطه ذوب بالا و مشخصات ویژه آلیاژهای تنگستن کاربرد آن را افزایش داده است. تکنولوژی پوشش تنگستن در صنایع مختلف مورد توجه قرار گرفته است. تنگستن سختی، نقطه ذوب، الاستیسیته و مقاومت خوردگی آهن را افزایش می‌دهد. بخشی از آلیاژ تنگستن برای تهیه آلیاژهای ویژه، آلیاژ سخت و لامپ به کار می‌رود. عمده ترین و بیشترین مصرف تنگستن در تولید کاربرد تنگستن است که بیش از ۵۰ درصد از مصرف تنگستن را به خود اختصاص می‌دهد. صنایع فولاد و آلیاژ سازی نیز در حدود ۳۰ درصد از مصرف جهانی تنگستن را به خود اختصاص می‌دهند که این محصولات در ساخت تجهیزات و فولادهای ضد زنگ و پر آلیاژ (که به عنوان سوپر آلیاژ ساخته می‌شوند) بکار می‌روند.

محصولات میله ای ساخته شده از فلز تنگستن که عمدتاً در صنعت لامپ سازی و قطعات الکتریکی (سیم نازک تنگستن به عنوان فیلامنت چراغ های برقی و کاتد لوله های الکترونیکی) مصرف می شود و در حدود ۸ درصد از تقاضای تنگستن را به خود اختصاص می دهند. سایر موارد کاربرد تنگستن شامل محصولات و کاربردهای شیمیایی مانند کاتالیزورها و رنگ دانه ها نیز ۹ درصد باقیمانده مصرف تنگستن را به خود اختصاص می دهند. فلز تنگستن همچنین در ساخت ابر آلیاژها همراه با مس و نقره و نیز صنایع شیمیایی کاربرد دارد.



شکل ۲. کاربرد تنگستن در ساخت لامپ

از تنگستن همچنین برای ساخت زره و وسایل نظامی استفاده می شود. البته بخشی از این آخرین کاربرد آن به وسیله اورانیوم ضعیف شده جایگزین شده است. تنگستن زمانی که خیلی خالص است، می تواند به صورت دندان اره ای باشد اما زمانی که ناخالص است شکننده و سخت است. در سال های اخیر بازار مصرف تنگستن از همه طرف محاصره شده است. مواد سخت جدید مانند الماس مصنوعی پلی کریستالین، نیتريد بور و کاربرد تیتانیوم به تدریج با تنگستن رقابت می کنند. پوشش این مواد بر روی کاربرد تنگستن نیز دوام و عمر مصرف آن را بیشتر کرده و نیاز به جایگزین کردن آن را کمتر کرده است و این امر خود باعث کاهش تولید تنگستن جهت مصرف در آلیاژهای آهن شده است. اخیراً سهم مصرف تنگستن در تولید کاربرد تنگستن به عنوان فلزی سخت افزایش یافته که این افزایش به دلیل رقابت کمتر تنگستن (بخصوص زمانی که قیمت کمتری داشته باشد) نسبت به سایر موارد به کار رفته در این صنعت بوده است. این محصول بیش از ۵۰٪ از مصرف تنگستن را به خود اختصاص داده است و مهمترین عامل تأثیر گذار بر میزان تقاضای تنگستن است. در سایر موارد مانند انواع فولاد و سوپر آلیاژها که در حدود ۳۰٪ از مصرف تنگستن را به

خود اختصاص داده است، کاربرد تنگستن نسبت به مواد دیگر دارای رقابت بیشتری بوده و میزان اهمیت مصرف تنگستن در این صنایع روندی نزولی داشته است. سایر موارد کاربرد تنگستن شامل محصولات و کاربردهای شیمیایی مانند کاتالیزورها و رنگ دانه‌ها نیز ۹ درصد باقیمانده مصرف تنگستن را به خود اختصاص می‌دهند. فلزات مقاوم و کاربید تنگستن عمده‌ترین و بیشترین مصرف تنگستن دنیا در تولید فلزات مقاوم و کاربید تنگستن ( $W_2C$ ,  $WC$ ) است که به عنوان فلزی سخت شناخته شده است. این محصول بیش از ۵۰ درصد از مصرف تنگستن را به خود اختصاص می‌دهد و از این رو مهم‌ترین فاکتور و عامل تأثیرگذار بر میزان تقاضای تنگستن است. کاربرد تنگستن به صورت کاربید در ساخت وسایل برش و پوشش مواد مقاوم در برابر سائیدگی و به ویژه در وسایلی که در دماهای بالا کار می‌کنند، پوشش سطح استوانه و غلطک‌ها در صنایع مختلف که ۶۵٪ محصولات تنگستن را شامل می‌شود. تنگستن کاربید اکثراً در صنایع معدنی و نفت برای نوک مته‌های حفاری، کندن زمین یا ماشین‌های خردکننده سنگ به کار می‌رود.

بیشترین استفاده تنگستن کاربید به صورت مخلوطی از پودر کبالت است که ۳ تا ۲۵ درصد وزنی آن را تشکیل می‌دهد و هر چه مقدار تنگستن آن بالا باشد، میزان مقاومت و سختی آن بالاتر می‌رود. در ابزارهای برنده و تیز از مخلوط تنگستن کاربید و تانتالیوم و تیتانیوم استفاده می‌شود. علاوه با اضافه کردن این فلزات، عمر ابزار افزایش می‌یابد.



شکل ۳. استفاده از تنگستن کاربید در مته های حفاری

کاربیدهای سیمانی شده (که فلزات بسیار سخت و مقاوم هستند)، فلزاتی با مقاومت ضعیف هستند که در استخراج فلز، صنایع نفت (مته های حفاری) و صنعت ساختمان استفاده می‌شود. کاربیدها، نیتريد‌ها یا کربونیتريد‌های تیتانیوم، نیویوم، تانتالیوم و هافنیوم نیز ممکن است بعنوان ترکیبات بلور ساز استفاده شوند.

خصوصیات ویژه فلزات مقاوم، سختی و مقاومت بالای آنها بخصوص در دماهای بالا به همراه چکش خواری خوب آنهاست. این خصوصیات با ترکیب فازهای کاربیدی سخت و شکننده با ترکیب دهنده های چکش خوار و تغییر شکل پذیری حاصل می‌شود. با تغییر نسبت کاربید به ترکیب دهنده و با انتخاب ترکیب مناسب کاربید، خواص فلز مقاوم در محدوده گسترده ای تغییر می‌یابد.

پارامتر بعدی کنترل کننده خواص عبارت است از ریز ساختار، به عبارت دیگر اندازه دانه های فاز کاربیدی که خود توسط اندازه ذرات پودر استفاده شده، آسیاب پودر و شرایط سینترینگ کنترل می شود. مهمترین کاربردهای فلزات مقاوم عبارتند از:

- ابزارهای برش فلز (حفاری، تراشکاری و آسیاب)
- ابزارهای فراوری چوب و پلاستیک
- ابزارهای حفاری در حفاریهای معدنی، نفت و آب
- ترکیبات پوششی مقاوم در ماشین آلات بسیار متنوع (این کاربرد بطور پیوسته رو به گسترش است).
- مواد ساینده پیوند داده شده بطور الاستیک

بیش از ۲۵٪ تنگستن تولید شده در تهیه فولادهای سخت و مقاوم در برابر حرارت بالا به کار می رود. تنگستن بین ۱ تا ۱۸ درصد به دامنه گسترده ای از فولادها اضافه می شود و موجب افزایش مقاومت و سختی آنها در دماهای بالا، مقاومت در برابر شوک دمایی و ویژگی های دما بالا می گردد. حجم بالایی از فولادها (Stellite, Hastelloy) اغلب با تنگستن تشکیل آلیاژ را می دهند که این فولادها حاوی ۱۸٪ تنگستن است. بیشترین استفاده تنگستن در فولاد های سرعت بالا، فولادهای دما بالا و ابزارهای فولادی می باشد. کاربرد تنگستن در صنایع استیل بویژه در چین و کشورهای بلوک شرق سابق که استیل های سرعت بالا بیشتر از سایر فلزات مقاوم استفاده می شوند از اهمیت بالاتری برخوردار است.

کاربیدهای چسبنده کاربیدهای سیمانی شده یا فلزات سخت، موادی با سختی بالا، نسوز و مقاومت سایشی بالا هستند که شامل کاربیدهای فلزی می باشند و در یک شبکه پیوندی جای گرفته اند. در ژاپن به این کاربیدهای فلزی آلیاژهای فوق العاده سخت، نسبت می دهند. کاربیدهای چسبنده مهمترین کاربرد تنگستن هستند که بیش از ۵۰ درصد کل تقاضا را در بر می گیرند. مصرف جهانی تنگستن به شکل کاربیدهای چسبنده بین ۲۲۰۰۰ تا ۲۲۵۰۰ تن در سال ۱۹۹۸ برآورد شده است. این روند رشد، بازار کاملی را برای تنگستن به وجود آورده است. در کاربیدهای چسبنده، کاربرد تنگستن، سختی خیلی زیاد و مقاومت بالایی در مقابل سایش دارد که خواصش را در دمای بالا نیز حفظ می کند. کاربیدهای سیمانی شده از مخلوط کردن پودر کاربید تنگستن و تیتانیوم، تانتالیوم و نیوبیوم با یک ماده چسبنده تولید می شوند. ماده چسبنده معمولاً کبالت است، اما نیکل و مولیبدن نیز گاهی مورد استفاده قرار می گیرند.

در این سه گروه عمده، کاربیدهای چسبنده به صورت زیر وجود دارند:

WC-CO کاربید تنگستن - کبالت که حاوی بیش از ۸۰ درصد کاربید تنگستن (WC) و بین ۳ تا ۱۷ درصد کبالت است.

MC-WC-CO کاربرد تنگستن با کبالت و مقادیر مشخصی از تیتانیوم مکعبی، نیوبیوم و تانتالوم ترکیب می شود.

TiC-Mo-Ni حدود ۸۰ درصد کاربرد تیتانیوم (TiC) ، یک ماده چسبنده، حدود ۱۰ درصد مولیبدن (Mo) و ۱۰ درصد نیکل (Ni) با هم ترکیب می شوند.

همچنین چندین مخلوط دیگر توسعه یافته کاربرد نیز وجود دارند. یکی از آنها که در حال حاضر بیشتر توسعه یافته، پودر بسیار ظریف است. این پودرها، سختی، مقاومت در مقابل سایش و پوشش اجزاء ابزارهای برشی را به اندازه ۴ برابر کاربرد تنگستن عادی افزایش می دهند. شرکت نانودین ایالات متحده آمریکا پودر تنگستن با اندازه دانه بین ۵۰-۲۰ نانومتر تولید می کند. در شرکت مذکور با فرآیند تبدیل اسپری یک پودر ویژه به وسیله خشک کردن محلولی از نمک های تنگستن و ترکیب با ماده چسبنده ای نظیر کبالت و یک بازدارنده رشد دانه ها مانند وانادیوم، ساخته می شود. سپس ماده مذکور به طور شیمیایی به پودر WC-CO تبدیل می شود. شرکت OMG پودر تنگستن با اندازه زیرمیکرون تولید می کند. کاربرد پودر مذکور به شرح زیر است:

الف - در صنایع الکترونیکی برای تولید مته های ریز، به منظور استفاده در بردهای ظریف.  
ب - در ماشین کاری فلزی و پلاستیکی جهت تولید مته هایی که برای سوراخ کاری آلیاژهای خاص فلزی و غیرفلزی و ترکیبات پلاستیکی به کار می روند و علاوه بر کیفیت مطلوب، طول عمر درازتری نیز دارند.

ج - جهت ساخت اره های برشی که تحت فشار و نیروی گریز از مرکز بالا برای ماشین کاری و ایجاد لبه های برشی تیز به کار می روند.

د - برای ساخت ابزار دیگری نظیر مته های دندان پزشکی، ساخت قالب های خاص و غیره.  
آلیاژ فولادهایی با مقاومت بالا از تنگستن ساخته می شود و به این صورت ۹٪ محصولات تنگستن را به خود اختصاص داده است. سختی بالا و مقاومت در مقابل اکسیداسیون یکی از خصوصیات بارز این آلیاژها است که در کارگاه های فلزی، صنایع معدنی و ساختمان کاربرد بیشتری دارند. مقاومت در فرسایش، مقاومت در برابر لرزش ها، مقاومت در مقابل فرسایش و مقاومت در دمای بالا از دیگر مشخصات این آلیاژها است. آلیاژ تنگستن با مس و نقره برای اتصالات الکتریکی اهمیت خاص دارد. صنایع فولاد و آلیاژسازی نیز در حدود ۳۰ درصد از مصرف جهانی تنگستن را به خود اختصاص می دهند که این محصولات در ساخت تجهیزات و فولادهای ضدزنگ و پرآلیاژ (که به عنوان سوپرآلیاژ شناخته می شوند) بکار می روند.

این کاربردها از سیم پیچ لامپ های تابنده و یا اتصال دهنده بوق اتومبیل تا اجزاء راکتورهای همجوشی هسته ای یا موتورهای پیشران یونی در کاوشگرهای فضایی متنوع است. علت کاربرد متنوع آلیاژهای تنگستن خواص بسیار شاخص این عنصر است که شامل:

دمای ذوب بالا (۳۴۱۰ درجه سانتی گراد)

فشار بخار پایین

عدد اتمی بزرگ  
 رسانایی دمایی و الکتریکی بالا  
 چگالی و ضریب الاستیسیته بالا  
 گستره طول موج بالا در نور مرئی و تولید نور خوب  
 تولید خوب اشعه  
 ضریب انبساط قابل قیاس با شیشه و سیلیس

### فولادهای آلیاژی

فولادهای آلیاژی یکی از موارد مهم مصرف تنگستن است، اما نوسان زیادی در تقاضای کشورها وجود دارد. برای مثال در آمریکا، صنعت فولاد حدود ۶ مصرف تنگستن را به خود اختصاص داده است. این رقم در سوئد ۲۵ درصد، چین ۴۰ درصد و هند ۵۰ درصد است. تنگستن در فولادهای کربن پایه به کار نمی‌رود، اما در فولادهای آلیاژی مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت تولید ابزار فولادی، فولادهای ضدزنگ با مقاومت بالا و همچنین فولادهای پر آلیاژ از فولادهای آلیاژی استفاده می‌شود.

ابزار فولادی با سختی مناسبشان برای تولید ابزارها و عملیات مکانیکی شناخته می‌شوند. ابزار فولادی را می‌توان در چهار بخش عمده به صورت زیر طبقه‌بندی کرد:

الف - ابزار فولادی کربن‌دار

ب - ابزار فولادی سرد - کار

ج - ابزار فولادی گرم - کار

د - ابزار فولادی سرعت بالا

در جدول تعدادی از عناصر آلیاژی که در ابزار فولادی به کار می‌روند و مهمترین اثرات آنها آورده شده است.

جدول ۱. تأثیر عناصر مختلف بر فولادهای آلیاژی

عناصر آلیاژی	تأثیر ویژه بر فولادهای آلیاژی
تنگستن	سختی و مقاومت سایشی بالای ذرات و بالا بردن سختی.
کروم	قابلیت سخت شوندگی را افزایش می‌دهد. در مقابل اصطکاک و سایش مقاومت می‌کند.
کبالت	قابلیت برش را افزایش داده و سختی را بهبود می‌بخشد.
مولیبدن	از بین بردن شکنندگی، افزایش سخت شوندگی و بهبود سختی.
وانادیوم	ایجاد مقاومت سایشی بالا و دومین سخت کننده.
منگنز	کاهش شکنندگی و بهبود ارزان قیمت سخت شوندگی.

ابزارهای فولادی کربن‌دار سخت هستند و رایج ترین ابزارهای فولادی تا سال ۱۹۰۰ میلادی بوده‌اند. ابزار مذکور هنوز هم در کاربردهایی نظیر حفاری‌های دورانی سرعت پایین، و بدنه هواپیمایی



جنگی ترجیح داده می‌شود. با فرآیند آبکاری می‌توان ابزار فولادی کربن‌دار با محدوده وسیعی از مقاومت به‌دست آورد. این ابزار قابلیت برندگی بالایی نیز می‌تواند داشته باشند. نکته قابل توجه اینکه این ابزار در دمای بیش از ۳۰۰ درجه سانتیگراد سختی‌شان را از دست می‌دهند که به همین دلیل کاربردشان برای ابزار برشی سرعت پایین به شدت محدود می‌شود. ابزارهای فولادی سرد-کار در دمای زیر ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به کار می‌روند. این ابزار برای سفیدکاری، سوراخ‌کاری و شکل‌دهی سرد به کار می‌روند. خواص موردنیاز ابزارهای فولادی سرد - کار پوشش، مقاومت تماسی، سفتی، سهولت ماشین‌کاری و عکس‌العمل خوب نسبت به حرارت است. تنگستن در بیشتر ابزارهای فولادی سرد-کار بیش از ۳/۵ درصد به کار می‌رود.

تنگستن در یکی از درجات فولاد سرعت بالای استاندارد در مقادیر بین ۱۸-۲ درصد وجود دارد. ابزارهای سرعت بالا می‌توانند در دمای نقطه ذوب بدون اتلاف سختی عمل‌آوری شوند، فولادهای سرعت بالا که جهت ماشین‌کاری به کار برده شدند دارای تنگستن بودند و وانادیوم اولین افزودنی به آن در سال ۱۹۰۴ بود تا ابزار سرعت بالای ۱٪ وانادیوم، ۴ درصد کروم و ۱۸ درصد تنگستن را تولید کنند که هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرد.

مولیبدن اولین بار در سال ۱۹۳۰ مورد توسعه قرار گرفت. فولادهای سرعت بالا مجموعه سختی هستند که به نسبت بالایی در کاربردهای مقاوم در مقابل خوردگی پراکنده شده‌اند. تنگستن و مولیبدن سختی و مقاومت سایشی را بهبود می‌بخشند. کبالت نیز در بعضی درجه‌ها افزوده می‌شود تا سختی را بهبود بخشد اما وجود این عنصر به قدرت تماس آسیب می‌رساند. روش‌هایی برای کنترل توزیع نامنظم کاربیدها در سال‌های اخیر توسعه داده شده‌اند. متالوژی پودر، انجماد سریع و تولید پیوسته سه تا از این روشها هستند.

فولاد ضدزنگ و مقاوم در مقابله حرارت فولادهای ضدزنگ بازار خیلی کوچکی برای تنگستن نسبت به ابزارهای فولادی هستند و تنگستن فقط به چند فولاد مقاوم در مقابل حرارت افزوده می‌شود. برای مثال مصرف تنگستن در فولادهای ضد زنگ در آمریکا شاید بیشتر از ۱۰۰ تن در سال نباشد. با فرض مصرف مشابه تنگستن در فولاد ضد زنگ، مصرف این فلز در این صنعت در سایر کشورها ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ تن در سال برآورد می‌شود.

فولادهای ضدزنگ مقاومت بیشتری نسبت به دیگر فولادها در مقابل خوردگی دارند، اما میزان مقاومت با نوع فولاد ضدزنگ تغییر می‌کند. مقاومت خوردگی فولاد وابسته به مقدار کروم است. در یک محیط اکسیدکننده، کروم یک لایه اکسیدکننده را روی سطح فولاد ضد زنگ تشکیل می‌دهد که اکسیداسیون بیشتری را مهیا می‌کند. بر مبنای طبقه‌بندی انجمن فولاد و آهن آمریکا (AISI)، فولاد ضد زنگ باید حاوی حداقل ۱۰ درصد کروم باشد. در طبقه‌بندی انجمن استاندارد انگلیس (BSI)، این مقدار حداقل ۱۱/۵ درصد است. افزودن ۱۰ درصد کروم به فولاد، مقاومت خوردگی در هوای ملایم یا در برابر بخار را افزایش می‌دهد. اضافه کردن بیش از ۱۸ درصد کروم مقاومت بیشتری را در حالت شیمیایی، پتروشیمیایی، صنایع فرآیندی و نیروگاهی به وجود می‌آورد.

فولادهای پرآلیاژ شامل تمام فولادها به غیر از فولاد ضدزنگ در مقابل حرارت، فولادهای با مقاومت بالای آلیاژی پایین، ابزارهای فولادی و فولادهای کربنی است. این فولادها به طور مشخص، شامل ۰/۱ درصد تا ۰/۴۵ درصد کربن، به همراه افزودنی‌های آلیاژی کروم، منگنز، نیوبیوم، وانادیوم و مقادیر کمی تنگستن هستند. به طور کلی درصدهای آلیاژی بیشتر سبب سختی بالاتر می‌شود در حالی که درصدهای بالاتر کربن قدرت بیشتری را دارند. میزان کل مصرف تنگستن در فولادهای پرآلیاژ در حد قابل توجهی نمی‌باشد. انواع فولادهای پرآلیاژ شامل موارد زیر هستند:

فولادهای مهندسی

فولادهای سنتی

فولادهای تقویت شده با کاربید

فولادهای ریلی

اتحادیه بین‌المللی صنعتی تنگستن (IIIA) برآورد می‌کند که تقاضای تنگستن در فولادهای آلیاژی، در چهار کشور یا منطقه عمده مصرف‌کننده، یعنی اروپای غربی، آمریکا، ژاپن و چین که در کل بالای ۱۱۰۰۰ تن را در سال ۱۹۹۸ مصرف کرده‌اند، وجود دارد. این چهار منطقه بیش از ۹۰ درصد از مصرف جهانی تنگستن را به خود اختصاص می‌دهند. چین بزرگترین کشور مصرف‌کننده تنگستن در فولادها و سوپرآلیاژها است، حدود ۳۹ درصد از کل تقاضای تنگستن دنیا را به خود اختصاص داده است. اروپای غربی که بزرگترین ناحیه مصرف‌کننده تنگستن است، ۲۶ درصد از تنگستن مورد نیاز خود را در فولادها و سوپرآلیاژها مصرف می‌کند. در آمریکا صنعت فولاد مصرف‌کننده عمده تنگستن نیست و فقط حدود ۱۰ درصد از کل مصرف داخلی را به خود اختصاص می‌دهد که نسبت به میزان مصرف ۱۷ درصدی تنگستن در این بخش در دنیا پایین است.

### سوپرآلیاژ

میزان مصرف تنگستن در سوپرآلیاژ در حد کمی است و به طور عمده در آمریکا و اروپای غربی که عمده‌ترین تولیدکننده این محصول هستند، محدود شده است. کشورهای مستقل مشترک‌المنافع نیز تولیدکننده این آلیاژ و همچنین تولید آنها گردید. کشورهای چین، هند، ژاپن و استرالیا نیز در حد کمی تولید سوپرآلیاژ دارند. میزان مصرف تنگستن در تولید سوپرآلیاژها در آمریکا حدود ۴۰۰ تن در سال ۱۹۹۸ بوده است. کشور آمریکا عمده‌ترین کشور تولیدکننده این محصولات است و بر همین اساس نیز بعید بنظر می‌رسد که مصرف جهانی تنگستن در سوپرآلیاژها بیش از ۱۰۰۰ تن در سال باشد. سوپرآلیاژها، آلیاژهایی با کارایی بالا هستند که تحت دمای بالا (بیش از ۸۱۵) ساخته شده‌اند و برای کاربردهای حرارتی، کششی بالا، لرزشی و تنشهای فشاری به کار می‌روند و دارای سطوحی با پایداری بالا و مقاومت اکسیدی زیاد هستند. این آلیاژها به سه نوع اصلی (ماده اصلی) نیکل، کبالت و آهن تقسیم می‌شوند. مصرف جهانی سوپرآلیاژها در سال ۱۹۹۹، ۱۱۳۴۰۰ تن بوده است. کاربرد صنایع هوایی همچنان عمده‌ترین بازار مصرف این محصولات است و در حدود

سه چهارم از کل مصرف جهانی را به خود اختصاص داده است. افزایش تقاضای مواد عملیاتی با کارایی بالا در سرویس‌های زیست محیطی سبب افزایش مصرف بیشتر سوپرآلیاژها در توربین‌های گازی صنعتی تولید نیرو، مهندسی دریا، پزشکی، شیمیایی و صنایع نفت و گاز شده است. میزان مصرف فعلی تنگستن در سوپرآلیاژها در حدود ۱ میلیون تن در سال است.

### صنایع الکتریکی و الکترونیکی

تنگستن خالص بیشتر در صنایع الکترونیکی کاربرد دارد. سیستم تنگستن در لامپ‌ها یا تیوب‌های کاند به کار می‌رود که به علت مقاومت تنگستن در حرارت بالا، در تیوب لامپ اشعه X-Ray نیز استفاده می‌شود. این بخش کلاً ۲۵٪ محصولات تنگستن را شامل می‌گردد محصولات میله‌ای ساخته شده از فلز تنگستن که عمدتاً در صنعت لامپ‌سازی و قطعات الکتریکی به کار برده می‌شوند در حدود ۸ درصد از تقاضای تنگستن را به خود اختصاص می‌دهند. تنگستن به طور گسترده‌ای به عنوان رشته در حباب لامپ و در لوله خلاء به صورت الکتروود استفاده می‌شود زیرا می‌تواند به صورت سیم‌های فلزی خیلی نازک کشیده شود که نقطه ذوب بالایی دارد. نقطه ذوب بالا تنگستن را برای جهت یافتگی در فضا و دمای بالای آن کاربردهای الکتریکی، گرمایی و جوشکاری استفاده می‌شود. اهداف sputter در تکنولوژی VLSI (Ti,W) ، تنگستن با درجه خلوص بالا، ترانزیستورها (W) ، دیودها (W) ، لوله‌های الکترونیکی (W-ThO<sub>2</sub>) ، تنگستن منفردار با باریوم یا (ThO<sub>2</sub>) ، Thyristor (W) ، اتصالات سوئیچ (W-Cu,W) ، (W-Fe-Ni-Cu-W-Ag) ، سینگ های گرمایشی (W-Cu) در انواع لامپهای تابنده (NS-W) ، لامپهای هالوژن (NS-W) ، لامپهای گازی: لامپهای بخار جیوه، سدیم (W) ، لامپهای فلورسنت.

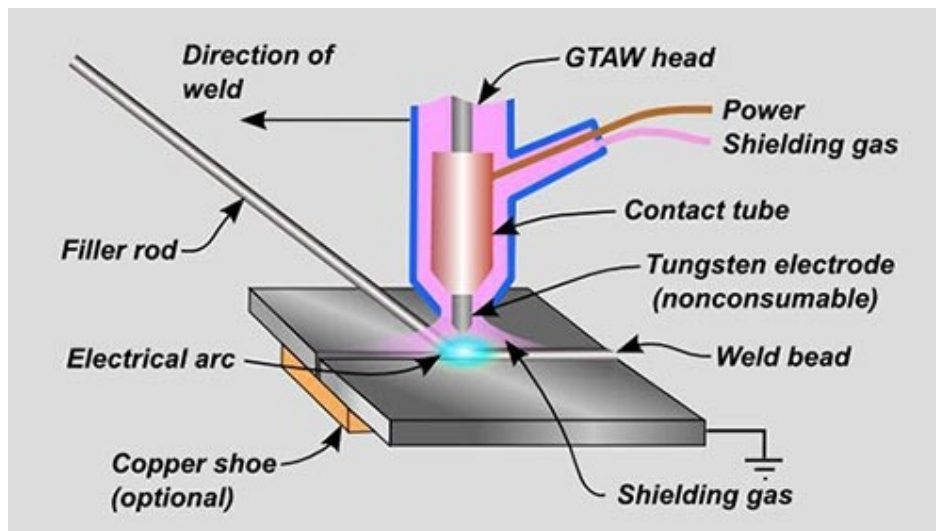
### محصولات رشته‌ای تنگستن

مقدار قابل توجهی از تنگستن به عنوان محصولات فلزی تنگستن از قبیل رشته لامپهای روشنایی (برق) و الکتریکی و نیز ارتباطات الکترونیکی مصرف می‌شود. این کاربردها و محصولات، کمتر از ۱۰ درصد (۳۵۰۰ تن در سال) مصرف کلی تنگستن را به خود اختصاص می‌دهد. پودر تنگستن یکی از مواد اولیه برای ساخت محصولات تنگستن است. فرآیند متالوژی هنوز فرآیند اصلی ساخت تنگستن فلزی است که شامل سه مرحله است: مرحله پرس کردن، مرحله پیش پخت و مرحله پخت. پس از پخت، میله‌های تنگستن قالب‌گیری شده و سپس این میله‌ها را از میان کاربرد تنگستن یا مهره‌های ریز الماس می‌کشند تا سیم و رشته‌های نازک تنگستن برای مصارف گوناگون تولید شود. براده‌هایی که در این روش بدست می‌آید برای تولید تجهیزات ارتباطات الکترونیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد اصلی محصولات تولیدی به روش فوق در رشته لامپها، محصولات الکتریکی و الکترونیکی است. تنگستن در دو نوع لامپ اصلی یعنی لامپهای تولیدکننده نور سفید و لامپهای تخلیه الکتریکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در لامپهای تولیدکننده نور سفید، تنگستن بیشتر به صورت یک رشته مورد استفاده قرار می‌گیرد زیرا توانایی تحمل درجه حرارت را تا نزدیک به نقطه ذوب خود، بدون اینکه به سرعت تبخیر شود.

در لامپهای تخلیه الکتریکی، الکترودهای تنگستن در داخل تیوبهای فلورسانس و در لامپهای هالید فلزی استفاده می‌شوند. قطعات الکتریکی و الکترونیکی، کاربرد اصلی دیگری برای محصولات فوق هستند، اگرچه بازار آن شبیه لامپهای الکتریکی است. تنگستن همچنین در مقابل روغن و بخار بنزین مقاوم است بنابراین در دلکوههای اتومبیل و نیز تنظیم کننده‌های ولتاژ استفاده می‌گردد. دیگر استفاده‌های فلز تنگستن شامل فنرهای سوپاپ، محلول گالوانومتر، سرمای مقاوم در مقابل اشعه X و در کوره‌های حرارت بالا است.

بازار اصلی تنگستن به صورت رشته‌ها و یا الکترودها، در ساخت لامپهای الکتریکی است. آمریکای شمالی بزرگترین منطقه مصرف این محصولات است که حدود 34 درصد کل بازار و تقاضای جهانی را به خود اختصاص داده است. اروپای غربی دومین مصرف‌کننده این محصولات است و مصرفی حدود 29 درصد کل مصرف جهانی را دارا است. به دنبال این مناطق ژاپن با 19 درصد و بقیه جهان با 18 درصد مصرف جهانی، قرار دارند.

کاربرد غیرفلزی تنگستن در حدود 1٪ محصولات تنگستن است و شامل رنگ‌های منسوجات، رنگ‌سازی، لعاب، ابزار موسیقی و شیشه رنگی می‌باشد. تنگستن به لحاظ درخشندگی در رنگ‌های شب‌نما، لامپهای تصویر تلویزیون و چراغ‌های فلئوئورسانس نیز کاربرد دارد. بدین صورت کاربرد تنگستن برای پوشش مقاوم، کارهای فلزی، فضاوردی، صنایع دفاعی، غلطک آسیا، استیل‌های مخصوص مانند تیپ M-2 و M-6 چراغ و میله‌های با پوشش سخت، ترکیبات شیمیایی، سرامیک، صنعت حفاری، نفت و ... است.



شکل ۴. نحوه کاربرد الکترود تنگستن در جوشکاری

#### لعاب سرامیک

اکسیدهای تنگستن در لعاب سرامیک استفاده می‌شوند. صنایع دما بالا (ساختمان کوره، انرژی هسته‌ای، نیروگاه‌های گرمایی، اجزاء ساختمانی (W)، دیوارهای راکتورهای هسته‌ای (W-Re)، Hf, W-Re- ThO<sub>2</sub>, W) اجزاء ساختمانی در فضای پلاسما در تولید الکتریسیته مگنتوهیدرو

دینامیک (W-Cu,W)، المنت های ترموکوپل (W-graphite, WIMO, WIWRe) ، المنت های گرمایشی (W)، فلززایی خلا و پلاسما، جوشکاری، خوردگی، جرقه ای، نازل های لوله (W-ThO<sub>2</sub>)، الکترودها (W-Fe-Ni(MO), WAg, W-ThO<sub>2</sub>) ، الکترودهای جوشکاری (W-ThO<sub>2</sub>, W-LaO<sub>2</sub>, W-CeO<sub>2</sub>, W-ZrO<sub>2</sub>, W-Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>).

ماشین آلات و ساختمانهای موتوری

وزنه های تعادل پروانه، وزنه های تعادل، وزنه های چرخ هواپیما و سایر وزنه ها بعنوان مثال در اتومبیل های مسابقات فرمول یک (W-Fe-Ni(Cu)).

صنایع شیمیایی

نمکهای حاوی تنگستن در صنایع شیمی و دباغی استفاده می شود. الکترودها، نازلها، بوته های آزمایش (W-MO).

چندین کاربرد شیمیایی برای تنگستن وجود دارد اما استفاده های آن در حد صنعتی دارای مصرف سالانه کمی است. به عنوان مثال در آمریکا مصرف تنگستن در مصارف شیمیایی در حدود ۱۰۰ تن در سال می باشد در حالی که میزان مصرف ژاپن در این بخش کمتر از ۱۰ تن در سال است. عمده ترین ترکیبات به کار رفته شامل موارد زیر است: تری اکسید تنگستن، آمونیوم متا تنگستن (AMT)، آمونیوم پارا تنگستن، اسید تنگستیک، هگزا فلورید تنگستن، تنگستات سدیم و تنگستات کلسیم.

الف - تری اکسید تنگستن

مهمترین کاربرد صنعتی تری اکسید تنگستن بعنوان حد واسط در تولید فلز تنگستن و پودر کاربرد آن است. واکنش شیمیایی از قبیل اکسیداسیون، آگیری، آبزایی، و پولیمریزاسیون با حضور این ماده شیمیایی سریعتر انجام می پذیرد، گرچه به عنوان کاتالیزور استفاده نمی شود.

ب - آمونیوم پارا تنگستن (APT)

این ماده حد واسط مهمی از تنگستن است و برای تولید فلز و پودر کاربرد، تری اکسید تنگستن و فسفرها نقش کاتالیزور داشته و برای جذب ژل و مواد کلوئیدی در محلولها به کار می رود. همچنین می توان آن را برای پوشش قالبهای آهنی و لوله های فولادی و به منظور جلوگیری از خوردگی اسیدی استفاده کرد.

ج - آمونیوم متا تنگستن (AMT)

این ماده به طور عمده به عنوان یک منبع برای ساخت تنگستن های شیمیایی، آلیاژها و کاتالیزورها به مصرف می رسد. در آب بسیار محلول بوده و به عنوان عاملی برای جلوگیری از سایش مورد استفاده است. میزان تری اکسید تنگستن در این ماده ۸۳/۵ درصد است.

د - اسید تنگستیک

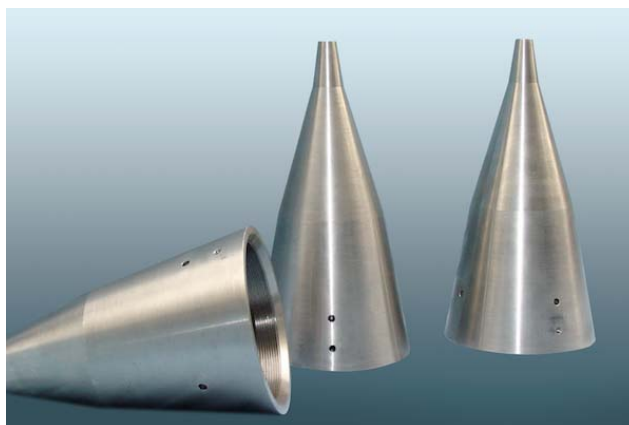
این ماده به صورت پودر بلورین زرد رنگ تولید می شود و در رنگدانه، کاتالیزورها و فسفرها مورد استفاده است و به عنوان منبعی از فلز و پودر کاربرد به نفت اضافه می شود.

ه - هگزا کلرو تنگستن

این ماده برای نگهداری حالت فلزی تنگستن بر روی لعابها، گرافیت، و لوله‌های مخصوص و غیره به مصرف می‌رسد. این امر با واکنش هیدروژن هگزا کلرور و درجه حرارت ۹۰۰ الی ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد انجام می‌پذیرد. روش بستر سیال برای پوشش قطعات کوچک سرامیکی به کار می‌رود. از فلز تنگستن پوشش داده شده به علت قدرت تحمل درجه حرارت زیاد و مقاومت در مقابل پوسیدگی و ساییدگی و نیز قابلیت هدایت الکتریکی استفاده می‌شود. هگزا کربن تنگستن  $W(CO)_6$  و هگزا فلورید تنگستن برای پوشش تنگستن به کار می‌روند، گرچه هگزا کلرور تنگستن را برای این امر ترجیح می‌دهند.

و - تنگستات سدیم ( $Na_2WO_4$ )

این ماده نیز کاربرد گسترده‌ای به عنوان تنگستن شیمیایی دارد و به دو صورت دانه‌های تصفیه شده و به حالت مایع که هر دو شکل یک نوع کاربرد دارند، تولید می‌شود. این ماده در تولید فسفا تنگستن و اسیدهای فسفا تنگستن مولیبدیک که در ساخت اسیدهای آلی نامتقارن و رنگدانه‌ها کاربرد دارند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این رنگها شفاف، سبک و غیرمحلول در آب و روغن هستند و در رنگهایی که با آب و روغن ساخته می‌شود قابل استفاده هستند. همچنین در ساخت جوهر مرکب، پلاستیک‌ها، لاستیک، انواع واکس، شیشه و کاغذ کاربرد دارند. به علت شفافیت در ساخت ترکیبات فسفوری لامپ تصویر تلویزیون به کار برده می‌شوند. دیگر موارد استفاده از این ماده تولید کاتالیزورها، پارچه‌های ضدآتش و نیز پوشش گرافیکی سطوح سخت است.



شکل ۵. کاربرد تنگستن در انواع نازلها

مصارف هوایی:

وزنه های تعادل دماغه هواپیما (W-Fe-Ni) ، تیغه های توربین (W- Re-ThO<sub>2</sub>)

## مصارف فضایی

نازلهای راکت (W,W-Ag) ، راکتورهای هسته ای فضایی (W-Re) ، تبدیل کننده های ترمویونیک (گرمایشی- یونی)، (تنگستن منفذ دار)، اجزاء ساختمانی (فیبر تنگستن - کمپوزیت های فعالیت مجدد یونی (تنگستن منفذ دار)، اجزاء ساختمانی (فیبر تنگستن - کمپوزیت های ماتریکس نیوبیوم تقویت شده، فرا آلیاژها، (Ti,AL)

## کاتالیست ها

تنگستن چه به شکل فلزی و چه بصورت ترکیبات متنوع بعنوان کاتالیست و یا اجزاء کاتالیست ها در تعداد زیادی از فرایندهای شیمیایی مورد استفاده دارد. این عنصر بصورت آلیاژ با Ni , CO یا Rh، برخی اوقات بصورت سولفیدی و برخی اوقات به شکل حامل های اکسید آلومینیوم می تواند واکنش CO با HZ ، واکنشهای تصفیه با آب Hydrotreating ، شکستن با آب Hydrocracking، تشکیل مجدد و سولفور زدایی با آب را کاتالیز کند.

اکسیدهای ذیل بعنوان کاتالیست بکار برده می شوند.  $WO_3$  به شکل کلونیدی جهت احیای فتوکاتالیزی مواد آلی بکار برده می شود.  $W_2OS_8$  هیدروژن دار شدن، هیدروژن گیری، هیدروکسیلی شدن و اپوکسیدی شدن را کاتالیز می کند. ترکیبی از اکسیدهای  $WO_3$  با  $TiO_2$  و یا گاز  $AlP_3$  یا  $SiO_2$  کاربردهای متنوعی دارد. بعنوان مثال در کاتالیزورهای DENOX جهت گاز شدیدی نیروگاه های گرمایی، هیدروژن دار شدن، تراکم آلدول، واکنشهای باز شدن حلقه و سنتز DMSO یا دی متیل سولفوکسید.

هیدروکسیدهای تری آلکالین یا تری آریل و یا ترکیبات سرب مشابه. کاربردهای تیپیک عبارتند از: پلیمریزاسیون دی ان، پلیمریزاسیون باز شدن حلقه، آلکیلاسیون و... کاربرد تنگستن جهت تغییر شکل - n هپتان، بعنوان کاتالیزر احیا کننده جهت اکسیداسیون هیدروژن در پیل های سوختی و همچنین تولید هیدروژن از آب .

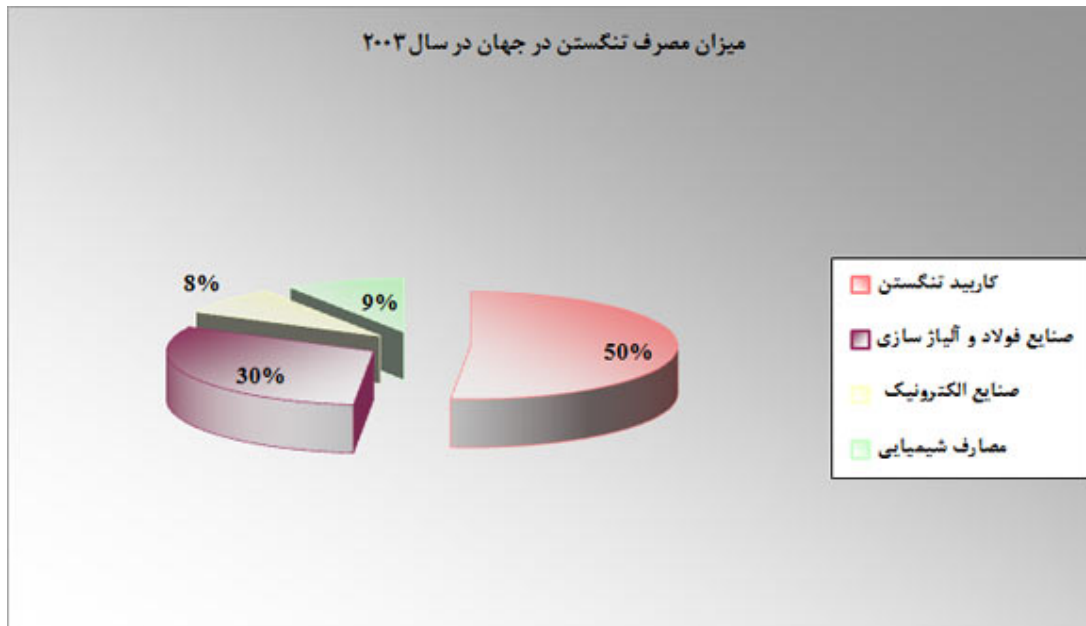
$W(CO)_6$  دامنه گسترده ای از واکنشهای آلی را کاتالیز می کند بعنوان مثال متاز آلکان ها. برنز سدیم تنگستن اکسیداسیون CO را کاتالیز می کند. نمک سدیم اسید تنگستوفسفریک جهت کاتالیز ایزومریزاسیون، پلیمریزاسیون، سنتز نیتریل، هیدروکلریناسیون، هیدروژن زدایی، سنتز کتون ها و سنتز حلقه زایی.

مواد مرکب شیمیایی تنگستن در کاتالیز، رنگدانه های غیرآلی و دی سولفید تنگستن روان کننده های با دمای بالا که در دمای ۵۰۰ درجه سانتیگراد پایدار است. این انبساط حرارتی عنصر شبیه یک شیشه باروسیلیکات است و برای پوشش های شیشه به فلز ساخته می شود.

## تولید تنگستن

به دلیل پایین بودن سقف قیمت تنگستن در جهان تولید آن کاهش چشمگیری پیدا نمود، به نحوی که کشور چین تصمیم به کنترل بازار تنگستن خود گرفت و این امر باعث افزایش تدریجی

قیمت تنگستن در سال های پس از ۱۹۹۹ گردید و با افزایش مجدد تولیدات جهانی بازار تنگستن بهبود یافت و مصرف این ماده در سال ۲۰۰۱ نسبت به سال ۲۰۰۰، به میزان ۸ هزار تن افزایش یافت. شکل زیر درصد مصرف تنگستن در صنایع مختلف در سال ۲۰۰۳ را نشان می دهند.



شکل ۶. سهم مصرف تنگستن در کاربردهای مختلف.

مواد سخت جدید مانند الماس مصنوعی پلی کریستالین، نیتريد بر، و کاربرد تیتانیوم به تدریج جایگزین تنگستن می شوند. پوشش این مواد بر روی کاربرد تنگستن نیز دوام آن را بیشتر کرده و بنابراین عمر مصرف آن را بیشتر و نیاز به جایگزین کردن آن را کمتر کرده است. در نتیجه شدت تولید تنگستن از دیگر آلیاژهای آهن کم حجم، کندتر است. اگر چه وجود دو خصوصیت سختی و دمای ذوب بالا احتمالاً قلب بازار مصرف تنگستن را حفظ خواهد کرد.

در حالی که تولید کاربرد تنگستن مهمترین مورد مصرف تنگستن در اروپای غربی، ژاپن و آمریکا است، در چین صنایع فولادی و آلیاژی با اختصاص ۴۸ درصد از مصرف تنگستن این کشور مهمترین کاربرد و مورد استفاده تنگستن است. در آمریکا، تولید محصولات میله ای و رشته ای با اختصاص ۲۰ درصد از مصرف تنگستن نسبت به سایر کشورهای صنعتی از اهمیت بیشتری برخوردار است در حالی که این نسبت در ژاپن و اروپای غربی به ترتیب ۶ و ۸ درصد است. در مقابل کاربردهای شیمیایی و سایر موارد استفاده در ژاپن با اختصاص ۲۰ درصد از مصرف تنگستن نسبت به ۸ درصد اروپای غربی و ۴ درصد آمریکا از اهمیت بیشتری برخوردار است.

در سالهای اخیر سهم مصرف تنگستن در تولید کاربرد تنگستن افزایش یافته است که این افزایش بدلیل رقابت کمتر تنگستن (بویژه درهنگامی که قیمت کمتری داشته است) نسبت به سایر موارد بکار رفته در این صنعت بوده است. در سایر موارد کاربرد تنگستن، مانند فولادها و سوپرآلیاژها، تنگستن نسبت به مواد دیگر رقابت شدیدتری داشته است و میزان اهمیت مصرف تنگستن در این صنایع روندی نزولی داشته است.



مصرف تنگستن با تولید کالاهای سرمایه‌ای ارتباط تنگاتنگی دارد. مهمترین تأثیر در آینده مصرف تنگستن، توسعه بازار تولید ابزارآلات برشی و حفاری و همچنین تولید قطعات مقاوم در برابر سائیدگی می‌باشد. قطعات موتوری هواپیما بزرگترین سهم را در مصرف تنگستن دارند و ابزارآلات حفاری معدن و نفت و گاز و صنایع مربوط به آنها در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

مواد ایده‌آل مورد مصرف در ساخت قطعات برشی دارای سختی زیاد در درجه حرارت‌های بالا می‌باشند و با مواد دیگر ترکیب نشده و همچنین واکنش از خود نشان نمی‌دهند. ابزارآلات ساخته شده از کاربیدهای تنگستن دارای این خصوصیات می‌باشد و از طرفی به وسیله مواد عاری از تنگستن از قبیل سرامیکها و ابزارآلات فوق‌العاده سخت ساخته شده از الماس و نیتراک برم در حال جایگزین شدن است. مصرف ابزارآلات در حوضه نفت- گاز افزایش یافته که نرخ این افزایش دارای نوسان بوده است. نوسان موجود نیز ارتباط مستقیمی با قیمت نفت دارد و بحرانهای نفت تأثیر به‌سزایی روی این محصولات در بازار داشته است.

رشد تولید تجهیزات فولادی طی چندسال آینده پیش‌بینی می‌شود که در حدود ۲ تا ۳٪ باشد. با وجود کاهش مصرف تنگستن در این تجهیزات میزان رشد استفاده تنگستن در تجهیزات فولادی تقریباً ثابت باقی خواهد ماند. میزان رشد تقاضای تنگستن در ساخت محصولات تنگستن تا حد قابل توجهی به صنعت لامپ و روشنایی وابسته می‌باشد که بخش زیادی از مصرف تنگستن را به خود اختصاص می‌دهد. تولید لامپ و صنعت روشنایی در چندین سال آینده وابسته به فعالیت اقتصادی کشورها است. اگرچه مقدار تنگستن بکار رفته در ساخت قطعات الکتریکی و الکترونیکی کم است اما پیش‌بینی می‌شود که میزان مصرف تنگستن در ساخت این قطعات نسبت به تولید لامپ در چند سال آینده رشد بالاتری داشته باشد. با وجود کاهش میزان مصرف واحد تنگستن در لامپ‌ها رشد فعلی تولید قطعات الکترونیکی و لامپ‌ها منجر به افزایش قابل توجه تنگستن نخواهد شد.

به طور کلی مصرف تنگستن در تولید محصولات دارای تنگستن در سالهای آتی تا حدی افزایش خواهد یافت که این میزان رشد در کشورهای در حال توسعه آسیا، آمریکای لاتین و اروپای شرقی بیشتر خواهد بود. یکی از موارد امیدبخش در مورد رشد مصرف تنگستن، استفاده از این فلز در صنایع نظامی و موشکی و به ویژه در تسحیلات هسته‌ای کشور است. مسائل زیست‌محیطی ناشی از استفاده اورانیوم غنی شده (DU) در موشکهای بزرگ و سرب در مهمات‌های کوچکتر منجر به انجام مطالعات گسترده برای یافتن مواد جایگزین شده است. در نتیجه این تحقیقات مشخص شده است که گلوله‌های تنگستن به تدریج می‌توانند جایگزین گلوله‌های سربی شوند. از نظر زیست‌محیطی تنگستن نسبت به سرب دارای خطرات کمتری می‌باشد و در اثر بکارگیری تنگستن به جای سرب، تولید ترکیبات گازی شیمیایی و ارگانیک که مخرب ازون می‌باشد از فرآیندها حذف می‌گردد و در نتیجه آلودگی کاهش می‌یابد و هزینه بیشتری صرفه‌جویی می‌گردد. پتانسیل دیگر جهت استفاده سوپرآلیاژهای تنگستن، استفاده از این آلیاژها به جای گلوله سربی است که در این

مورد نیز تحقیقاتی نیز انجام شده است، هرچند که در حال حاضر مواد جایگزینی مانند گلوله فولادی و گلوله بیسموت - قلع در این مورد آماده استفاده هستند.

## روشهای فراوری تنگستن

دو کانی حاوی تنگستن که نسبت به دیگر کانی‌های این گروه اهمیت بیشتری دارند کانی‌های ولفرامیت و شلیت هستند و استحصال تنگستن از این دو کانی صورت می‌گیرد. ذخایر تنگستن می‌توانند حاوی یکی از این دو کانی و یا هر دوی آنها باشند.

کانسارهای شلیت معمولاً نسبت به کانسارهای ولفرامیت ذخیره بیشتر و عیار کمتری دارند که این گونه کانسارها جهت عملیات فرآوری در مقایس بزرگ مناسب‌اند. به همین دلیل نیز معادن شلیت معمولاً بزرگتر از معادن ولفرامیت هستند. عملیات فرآوری تنگستن تا اواخر به طور انحصاری توسط روش پرعیارسازی ثقلی معمولی انجام می‌گرفت که در آن عملیات کنسانتره تولید شده تا حد دستیابی به عیار قابل فروش  $WO_3$  که معمولاً بیش از ۶۵٪ بود، تغلیظ می‌شد. روش پرعیارسازی ثقلی هنوز هم در فرآوری تنگستن به کار برده می‌شود و در آینده نیز برای این منظور به کار خواهد رفت.

جهت فرآیند پیش تغلیظ، جداکردن و برگرداندن بخشی از باطله موجود در مواد معدنی قبل از فرآیند اصلی پرعیارسازی، روش‌های مختلفی به کار می‌رود. عملیات سنگ‌جوری توسط افراد هنوز هم در کشورهای در حال توسعه یا کشورهایی که کارگر زیاد و نسبتاً ارزان دارند، متداول است. برای مثال در دو کارخانه در چین ۳۰۰۰ تن به روز تحت عملیات سنگ‌جوری قرار می‌گیرد که با این عملیات در حالی که عیار  $WO_3$  از ۰/۲۵٪ به ۰/۵٪ افزایش می‌یابد، تقریباً ۵۰٪ ماده معدنی کاهش می‌یابد.

عملیات سنگ‌جوری مکانیکی نیز در بعضی از معادن و کارخانه‌ها به کار برده می‌شود. مثلاً در استرالیا روش فتومتریک (نورسنجی) جهت جدا کردن ریف کوارتز (که شامل ولفرامیت و شلیت می‌باشد) از سنگهای شلیستوزیتی همراه به کار برده شده است. همچنین از وسایل و تجهیزاتی که از اشعه فرابنفش استفاده می‌کنند جهت انجام سنگ‌جوری استفاده می‌شود.

با استفاده از این روش‌ها آزادی عمل در انتخاب روش معدنکاری روباز که نسبت به عملیات زیرزمینی کم هزینه‌تر می‌باشد، بیشتر می‌شود. جیگ ماشین‌ها علاوه بر اینکه به عنوان وسیله جدایش و در مدار اصلی به کار می‌روند، جهت عملیات پیش تغلیظ کانسارهای کم عیار نیز می‌توانند استفاده شوند.

جدایش واسطه سنگین یک گزینه رایج جهت عملیات پیش تغلیظ است. همچنین استفاده از جداکننده‌های واسطه سنگین دینامیکی نتایج مطلوبی را در مورد پرعیارسازی کانسارهای کم عیار، قبل از مرحله اصلی تغلیظ نشان داده است. از جدا کننده‌های مغناطیسی شدت پایین نیز می‌توان به عنوان وسیله‌ای برای عملیات پیش تغلیظ و حذف مواد مغناطیسی موجود در ماده معدنی

استفاده کرد. با وجود اینکه روش ثقلی مهمترین و کاراترین روش در تغلیظ کانسارهای تنگستن است، تجهیزاتی که با این خاصیت کار می‌کنند در دامنه ابعادی خاصی کارایی بیشتری دارند. به عنوان مثال کارخانه‌ای در کشور استرالیا که حدود ۴۰۰۰ تن به روز کانسار شلیت کم عیار را فرآوری می‌کند حاوی مدار پیچیده‌ای از جیگ‌ها، اسپرالها و میزهای نرمه است. در این کارخانه جیگ‌ها جهت پرعیارسازی شلیت در دامنه ابعادی ۲+ تا ۱۷- میلیمتر، مخروطهای ریچارت و اسپرالها برای پرعیارسازی دامنه ابعادی ۰/۴+ تا ۲- میلیمتر و میزهای نرمه جهت پرعیارسازی دامنه ابعادی ۰/۴ mm به کار می‌روند که با استفاده از این تجهیزات از کانساری با عیار متوسط ۰/۱ درصد  $WO_3$ ، پس از کلسیناسیون و تغلیظ نهایی کنسانتره‌ای با عیار ۷۸ درصد  $WO_3$  تولید می‌شود. کانی‌های تنگستن، مانند دیگر اکسیدهای فلزی معمولاً بسیار ترد و شکننده‌اند. و بنابراین در مراحل خردایش و آماده‌سازی خوراک جهت دستیابی به حداکثر بازیابی موردنظر و کارایی فرآیند جدایش، مقدار زیادی نرمه تولید می‌شود. از این رو به منظور افزایش بازیابی و سوددهی عملیات فرآوری نرمه تولید از اهمیت خاصی برخوردار است.

مدارها و تجهیزات ثقلی متداول بیشتر بخش ابعادی ۴۰- میکرون را بازیابی نمی‌کنند و در این دامنه ابعادی از کارایی مطلوبی برخوردار نیستند. بازیابی این دسته از مواد معمولاً توسط میزهای نرمه یا تجهیزات پیشرفته دیگری امکان‌پذیر است. فرآیند فلوتاسیون به ویژه درمورد فرآوری نرمه‌های شلیت یک فرآیند متداول است. مثلاً در دو کشور کانادا و ایسلند این فرآیند در مورد شلیت برای تولید کنسانتره‌هایی با عیار پایین به کار می‌رود که در ادامه این محصولات با استفاده از فرآیندهای شیمیایی پرعیار می‌شوند. در برخی از کارخانه‌ها نیز که خوراک ورودی به کارخانه نرمه است فرآیند فلوتاسیون تنها روش مورد استفاده است و به طور کلی جایگزین روش ثقلی شده است.

ولفرامیت به طور مطلوبی توسط جداکننده مغناطیسی شدت بالا پرعیار می‌شود. همچنین فرآیند فلوتاسیون در مورد نرمه‌های ولفرامیت نیز به کار گرفته شده است. بنابراین روش متداول کانه‌آرایی ولفرامیت بدن ترتیب است که ابتدا به وسیله فلوتاسیون گزنتات هر گونه کانی‌های سولفیدی از آن جدا می‌شود و یک توده کنسانتره با درجه ثقلی بالا به دست می‌آید. سپس این محصول مجدداً توسط تجهیزات ثقلی پرعیار شده و پس از خشک شدن ولفرامیت از طریق جداکننده مغناطیسی قوی بازیابی می‌گردد. جهت کانه‌آرایی ذرات ریز شلیت از روش فلوتاسیون استفاده می‌شود. جداکننده‌های الکترواستاتیک نیز برای بازیابی ذرات درشت شلیت استفاده می‌شوند. مقادیری تنگستن به عنوان محصول جانبی در معدنکاری قلع تولید می‌شود. ولفرامیت بیشتر از کنسانتره‌های کاسیتريت در حین جداسازی مغناطیسی بازیابی می‌گردد. بازیابی ولفرامیت ناخالص تا ۷۰ درصد، میزبان بازیابی خوبی است و بازیابی بالاتر (۸۰ تا ۹۰ درصد) تحت شرایط امکان‌پذیر است. متوسط بازیابی خوب برای شلیت ۶۰ درصد است. هزینه‌های بازیابی تنگستن قابل فروش از طریق بازیابی سایر کانی‌های همراه با آن مانند قلع، مولیبدنیت و بیسموتیت می‌تواند کاهش یابد. ارزش و بهای کنسانتره تنگستن بر حسب مقدار اکسید تنگستن ( $WO_3$ ) تعیین می‌شود که میزان

WO<sub>3</sub> به کمک تجزیه شیمیایی مشخص می‌شود. خریداران آمریکایی معمولاً کنسانتره ولفرامیت با عیار بالای ۶۵ درصد و شلثیت با عیار بالاتر از ۶۰ درصد WO<sub>3</sub> را خریداری می‌کنند. رطوبت آزاد سنگ معدن و کنسانتره بعد از بسته‌بندی و بارگیری نباید بیش از ۰/۵ درصد باشد. یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان انگلیسی، حداکثر ناخالصی زیر را برای کنسانتره (بعد از آماده شدن جهت ذوب) تعیین کرده است:

فسفر = ۰/۰۲ درصد

مس = ۰/۱ درصد

بیسموت = ۰/۱ درصد

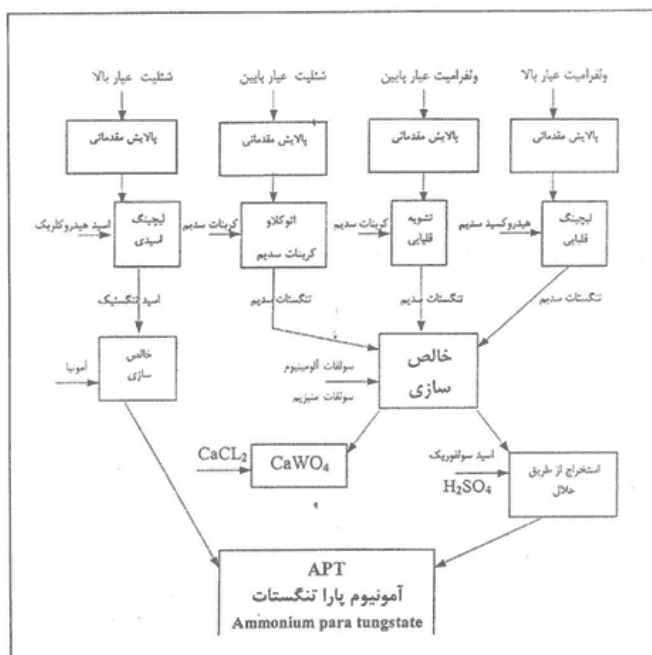
مولیبدن = ۰/۳۵ درصد

قلع = ۰/۱ درصد

آرسنیک = ۰/۰۳ درصد

سولفور = ۰/۰۵ درصد

از نظر اقتصادی انتظار می‌رود که کنسانتره شلثیت حاوی بیش از ۷۰ درصد WO<sub>3</sub> باشد. ولی در بعضی موارد نیز با درجه خلوص ۱۰ الی ۳۰ درصد بازیابی می‌گردد. کنسانتره‌هایی با چنین عیاری در محل تبدیل به آمونیوم پارا تنگستن (APT) گردیده و یا به صورت شلثیت مصنوعی [تنگستات کلسیم (CaWO<sub>4</sub>)] در می‌آیند. شکل زیر مراحل مختلف تولید تنگستن از انواع کانسارها را نشان می‌دهد.



شکل ۷. مراحل تولید تنگستن از انواع کانسارهای آن.