

دشمن آبی رنگ سرطان "کبالت"

مدیریت آموزش، پژوهش و فناوری ایمیدرو

کبالت از زمان‌های قدیم که مواد مرکب آن به صورت شیشه آبی‌رنگی تصور می‌شد، شناخته شده بود. کبالت بین سال‌های ۱۷۶۸-۱۶۹۴ توسط George Brandt کشف شد. وی کبالت را به رنگ آبی در شیشه نشان داد که قبلاً ناشی از بیسموتی می‌دانستند که همراه با کبالت یافت شده بود. کانه‌های کبالت هزاران سال به‌عنوان عامل ایجاد رنگ آبی در شیشه‌سازی و سفالگری بکار می‌رفته است. سفال‌های با جلای آبی‌رنگ که در مقبره‌های مصری یافت شده و قدمت آن‌ها به ۲۶۰۰ سال پیش از میلاد مسیح می‌رسد دارای کبالت هستند به همین سان، مهره‌های شیشه‌ای پارسی با قدمت ۲۲۵۰۰ سال پیش از میلاد مسیح نیز دارای کبالت می‌باشند. گلدان‌های پورتلند موجود در موزه بریتانیا شواهدی دال بر استفاده از رنگ‌دانه‌های کبالتی توسط شیشه‌گران یونانی در آغاز دوران مسیح دارند. مواد کبالت دار در ایجاد رنگ آبی برای کوزه‌گری چینی در سلسله‌های تانگ (۹۰۰ - ۶۰۰ پس از میلاد مسیح) و مینگ (۱۶۵۰ - ۱۳۵۰ پس از میلاد مسیح) نقش داشته‌اند. رنگ‌دانه‌های آبی‌رنگ مرغوب که برای این منظور ایجاد شده‌اند را می‌توان با ذوب کانه اکسیدی کبالت با پتاسیم و سیلیس بدست آورد که ماده شیشه‌ای بنام اسمالت ایجاد می‌کند. با پودر کردن این ماده رنگدانه‌ها بدست می‌آیند



شکل ۱. استفاده از بلور کبالت در تزئین دکمه لباس قدیمی

لئوناردو داوینچی یکی از اولین هنرمندانی بود که از این رنگدانه برای نقاشی تابلوی " بانوی سنگ‌ها" استفاده کرد.

کبالت ، به صورت فلز آزاد وجود ندارد و عموماً " به صورت سنگ معدن یافت می‌شود. کبالت معمولاً" به تنهایی استخراج نمی‌شود و به عنوان محصول جانبی فعالیت‌های استخراج مس و نیکل به دست می‌آید. هرچند که تا قرن بیستم از فلز کبالت به میزان کمی استفاده می‌شده‌است، استفاده از کبالت به عنوان یک فلز به سال ۱۹۰۷ برمی‌گردد که در آن سال‌ها نیز یک سری آلیاژهای کبالت کروم را طراحی کرد که استلیت نام داشتند. وی پیشگام در امر سوپر آلیاژها است. در سال ۱۹۳۰ مشاهده شد که افزودن کبالت به آلیاژهای خاصی از آهن، نیکل و آلومینیوم ویژگی آنها را به عنوان آهنربای دائم افزایش می‌دهد .

برخی از آلیاژهای کبالت، از سازگاری بیولوژیکی برخوردار بوده و به همین علت نیز استفاده از آنها در ایمپلنت‌های ارتوپدی رو به افزایش است.



شکل ۲ ایمپلنت مفصل لگن از جنس آلیاژ پایه کبالت

خواص فیزیکی

نام کبالت Cobalt از واژه آلمانی Kobold یا Cobalt به معنی روح شیطان (Evil spirit) گرفته شده است. این نام را کارگران معدن به علت سمی و دردسرساز بودن این عنصر برای آن انتخاب کردند. زیرا کبالت سایر عناصر معدن را آلوده و کم عیار می‌کند. کبالت سی و دومین عنصر فراوان در پوسته زمین است و فراوانی نسبی کبالت در پوسته زمین ۰/۰۰۲٪ می‌باشد. کبالت فلزی است نادر به رنگ سفید تا خاکستری رنگ یا سفید-نقره‌ای با نماد Co، عدد اتمی ۲۷، وزن اتمی ۵۸/۹۳۳. وزن مخصوص آن حدود ۸/۹ گرم بر سانتی متر مکعب و به چگالی نیکل بسیار نزدیک است. سختی آن ۵ در مقیاس موس، چکش خوار، نقطه جوش ۲۸۷۰ درجه سانتی‌گراد و نقطه ذوب ۱۴۹۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کبالت یک عنصر فرومگنتیک سخت در گروه ۹ جدول تناوبی به عنوان فلز انتقالی بوده و در دوره ۴ قرار دارد که در دمای اتاق، از نفوذپذیری مغناطیسی اولیه ۶۸ و حداکثر نفوذپذیری ۲۴۵ برخوردار است. هدایت الکتریکی آن IACS ۲۷/۶٪ در دمای ۲۰ °C است.



شکل ۳ عنصر کبالت

خواص مکانیکی

کبالت در دماهای کمتر از ۴۱۷ °C ساختار شش وجهی فشرده (hcp) دارد که بالاتر از این دما به ساختار مکعبی با وجوه پر (fcc) تبدیل شده و تا نقطه ذوب همین ساختار را حفظ می‌کند. سختی انواع مختلف کبالت در محدوده ۱۴۰ تا ۲۵۰ HV قرار می‌گیرد و سختی فلز بسیار خالص که به خوبی آنیل شده است بین ۱۴۰ تا ۱۶۰ HV گزارش شده است. استحکام کششی و تسلیم کبالت بسیار خالص (خلوص ۹۹/۵٪)، که با ذوب در خلأ تولید شده، تحت کار گرم قرار نگرفته و در دمای ۸۰۰-۱۰۰۰ °C آنیل شده، به ترتیب ۸۷۵-۸۰۰ MPa و ۳۰۵-۳۴۵ MPa بوده و درصد ازدیاد طول آن نیز بین ۱۵ تا ۳۰ درصد است. کبالت تولید شده در هوا در مقایسه با کبالت بسیار خالص از داکتیلیته بسیار کمتری برخوردار است.

کبالت در دماهای کمتر از 417°C ساختار شش وجهی فشرده (hcp) دارد که بالاتر از این دما به ساختار مکعبی با وجوه پر (fcc) تبدیل شده و تا نقطه ذوب همین ساختار را حفظ می کند. سختی انواع مختلف کبالت در محدوده 140 تا 250 HV قرار می گیرد و سختی فلز بسیار خالص که به خوبی آنیل شده است بین 140 تا 160 HV گزارش شده است.

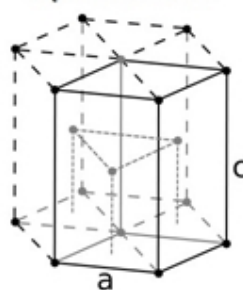
استحکام کششی و تسلیم کبالت بسیار خالص (خلوص 99.5%)، که با ذوب در خلأ تولید شده، تحت کار گرم قرار نگرفته و در دمای $1000-800^{\circ}\text{C}$ آنیل شده، به ترتیب $875-800$ MPa و $345-305$ MPa بوده و درصد ازدیاد طول آن نیز بین 15 تا 30 درصد است. کبالت تولید شده در هوا در مقایسه با کبالت بسیار خالص از داکتیلیته بسیار کمتری برخوردار است.

خواص شیمیایی

فراوانی نسبی عنصر کبالت در ترکیب پوسته جامد زمین در مقایسه با فراوانی نیکل به نسبت $10:4$ است. به علت وجود حالت های اکسیداسیون مختلف، تعداد زیادی از ترکیبات کبالت وجود دارد. مهم ترین اکسیدهای آن CaO و Co_3O_4 هستند.

کبالت، عنصر فرومغناطیس سختی است که دارای رنگ خاکستری براقی می باشد. دمای کوری آن، 1388 درجه کلوین است. این عنصر اغلب با نیکل همراه است و هر دوی آنها از اجزای مشخص فلز شهاب سنگی می باشند. پستانداران، نیازمند مقدار بسیار کمی از نمک های کبالت هستند. کبالت 60 که ایزوتوپ رادیواکتیو و مصنوعی کبالت است، یک ردیاب رادیواکتیو مهم و عامل معالج سرطان به شمار می آید. نفوذ پذیری نسبی کبالت، دو سوم آهن است. کبالت، فلزی عموماً دارای مخلوطی از دو ساختار شکل بلورین fcc و hcp با دمای انتقال از fcc به hcp 722 درجه کلوین می باشد. حالات اکسیداسیون عادی کبالت، شامل $2+$ و $3+$ است، گرچه $1+$ نیز دیده شده است.

Crystal Structure



Hexagonal Close Packed (HCP)

شکل ۴ ساختار کریستالی کبالت

کبالت، بصورت طبیعی دارای 1 ایزوتوپ پایدار $Co-59$ می باشد. 22 رادیوایزوتوپ نیز شناخته شده است که پایدارترین آنها $Co-60$ با نیمه عمر $5/2714$ سال، $Co-57$ با نیمه عمر $271/79$ روز، $Co-56$ با نیمه عمر $77/27$ روز و $Co-58$ با نیمه عمر $70/86$ روز هستند. مابقی ایزوتوپهای رادیواکتیو، دارای نیمه عمری کمتر از 18 ساعت هستند که اکثریت آنها نیمه عمری کمتر از 1

ثانیه دارند. این عنصر همچنین دارای ۴ حالت برانگیختگی است که تمامی آنها نیمه عمری کمتر از ۱۵ دقیقه دارند.

کاربردهای کبالت

کاربردهای کبالت به دو گروه عمده متالورژیکی و غیر متالورژیکی تقسیم می‌شوند. کاربردهای متالورژیکی این فلز شامل آلیاژهای پایه کبالت مقاوم به سایش، مقاوم به حرارت، و مقاوم به خوردگی، استفاده از کبالت در سوپرآلیاژهای پایه نیکل (عمده‌ترین کاربرد کبالت)، سوپرآلیاژهای پایه آهنی، کاربردهای سمانته شده، مواد مغناطیسی، آلیاژهای انبساط پایین، فولادها و به میزان کمتر در آلیاژهای غیر آهنی و پوشش‌های کبالت است.

کاربردهای غیر متالورژیکی کبالت شامل بکارگیری ترکیبات کبالت در مواد شیمیایی (مانند رنگدانه‌ها، کاتالیزورها، خشک‌کننده‌ها، و مواد چسبنده) و کاربردهای الکتریکی (مانند وسایل ضبط مغناطیسی کبالت‌دار و باتری‌ها) است.

آلیاژهای پایه کبالت

آلیاژهای پایه کبالت گروهی از آلیاژهای مقاوم به سایش، خوردگی و حرارت (حتی تا دماهای بالا) هستند. بزرگ‌ترین کاربرد این آلیاژها در ترکیبات و یا کاربردهای مقاوم به سایش است. کبالت در کاربردهای مقاوم به حرارت، اغلب به عنوان عنصر آلیاژی در آلیاژهای پایه نیکل مورد استفاده قرار می‌گیرد و تناژ کبالت مصرفی در این آلیاژها از تناژ کبالت در آلیاژهای مقاوم به حرارت پایه کبالت بیشتر است.

بسیاری از خواص این آلیاژها ناشی از طبیعت کریستالوگرافیکی کبالت (بخصوص در برابر تنش)، تأثیر کروم، تنگستن و مولیبدن در استحکام بخشی محلول جامد، تشکیل کاربردهای فلزی، و مقاومت به خوردگی در نتیجه حضور کروم است.

به طور کلی، ترکیبات نرم‌تر و با تافنس بالاتر در کاربردهای دمابالا، مانند پره‌ها و مخازن توربین‌های گازی، مورد استفاده قرار می‌گیرند و گریدهای سخت‌تر در مصارفی که مقاومت به سایش مورد نیاز است کاربرد دارند.

کبالت در سوپرآلیاژها

سوپرآلیاژهای پایه نیکل

حضور کبالت در آلیاژهای پایه نیکل (معمولاً ۱۵-۱۰ درصد) سبب استحکام بخشی محلول جامد و کاهش انحلال پذیری آلومینیم و تیتانیم و در نتیجه، افزایش کسر حجمی فاز Ni_3Al می‌شود که جهت ایجاد استحکام دمابالا و مقاومت به خزش آلیاژ مورد نیاز است.

چندین پروژه تحقیقاتی ناسا به بررسی نقش کبالت در خواص و ویژگی‌های ریزساختاری سوپرآلیاژهای پایه نیکل اختصاص یافته است.

آلیاژ واسپالوی (Waspaloy)، که ۱۳ درصد کبالت دارد، در دیسک توربین‌ها بکار می‌رود. با توجه به اینکه اندازه و وزن این دیسک‌ها بالاست بخش اعظم کبالت مورد استفاده در اجزای موتور توربین‌های گازی به تولید دیسک اختصاص دارد.



شکل ۵ کاربرد آلیاژ کبالت در دیسک توربین

کبالت در کاربردهای سمانته شده

کبالت در کاربردهای سمانته شده یا همان فلزات سخت به عنوان یک چسبنده فلزی داکتیل برای ذرات کاربردی سخت عمل می‌کند. علت استفاده از کبالت به عنوان زمینه‌ای برای ذرات کاربردی قابلیت تر کردن یا خاصیت مویینگی آن حین زینتر فاز مایع است که دستیابی به چگالی بالا را امکان‌پذیر می‌کند.

حدود ۵۰ درصد کل تولید کاربردهای سمانته شده در انواع ترکیبات شیمیایی جهت مصارف مربوط به ماشین‌کاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. گریدهای ساده، که شامل کاربید تنگستن پیوند خورده با کبالت (WC-Co) هستند، عموماً بین ۳ تا ۱۲ درصد کبالت و اندازه دانه‌های کاربردی ۰/۵ تا بیش از ۵ μm دارند. گریدهای آلیاژی، یا گریدهای برشکاری فولاد، کاربید تیتانیم (TiC)، کربونیتريد تیتانیم (TiCN)، نیتريد تیتانیم (TiN)، کاربید تانتالم (TaC)، و یا کاربید نایوبیم (NbC) دارند. بهبود مقاومت به سایش ابزارهای کاربید سمانته شده توسط یک پوشش سخت چندلایه از TiN، TiCN، TiC، اکسید آلومینیم (Al_2O_3) و ندرتاً کاربید هافنیم (HfC) حاصل می‌گردد. این نوع پوشش‌ها اغلب به کمک تکنیک‌های رسوب‌دهی بخار اعمال می‌شوند. کاربرد کاربردهای سمانته در مصارف غیر ماشین‌کاری، مانند معدن‌کاری، ساخت، دریل گاز و نفت، شکل‌دهی فلزات، قطعات سازه‌ای، و اجزای سایشی، رو به افزایش است.

کبالت در مواد مغناطیسی

یک ماده مغناطیسی نرم، آلیاژی فرومغناطیس است که با اعمال یک میدان مغناطیسی به راحتی مغناطیس شده و با قطع میدان، به حالت غیر مغناطیسی خود باز می‌گردد. چنین آلیاژهایی نفوذپذیری مغناطیسی بالا، نیروی وادارندگی کم، و اتلاف هیستریزیس مغناطیسی پایینی دارند. یک ماده مغناطیس دائم، آلیاژی فرومغناطیس است که می‌تواند بعد از قطع میدان مغناطیسی خارجی، قطب‌های مغناطیسی ایجاد شده در خود را حفظ نموده و مغناطیس دائم بماند. چنین آلیاژهایی از نیروی وادارندگی مغناطیسی بالایی برخوردارند. کبالت، که به طور طبیعی فرومغناطیس است، در چندین گروه از مواد مغناطیسی مقاومت به غیر مغناطیس شدن ایجاد می‌کند.

کبالت در مواد مغناطیسی نرم با آهن (49Co-49Fe-2V و Fe-27Co-0.6Cr) آلیاژسازی می‌شود. آلیاژهای آهن-کبالت در لمینیت‌کاری موتورها و ژنراتورها، لمینیت ترانسفورماتورها، و دستگاه‌های جایگذاری فوق‌العاده دقیق کاربرد دارند.

آلیاژهای پایه کبالت آمورف حاوی انواع مختلفی از متالویدها نیز به صورت مغناطیس نرم در دسترس قرار دارند. نمونه‌ای از این مواد $Co_{72}Fe_3P_{16}B_6Al_3$ است. این مواد، که اتلاف هیستریزیس و نیروی وادارندگی مغناطیسی کمی دارند، به عنوان هسته در ترانسفورماتورهای توزیع نیرو استفاده می‌شوند.

کبالت در فولادها

کبالت جزء عناصر آلیاژی متداول برای فولادهای کم‌آلیاژی محسوب نمی‌شود، زیرا در مقایسه با سایر فلزات ارزان‌تر، مانند نیکل یا مولیبدن، تأثیر مستقیم کمتری بر خواص فولاد می‌گذارد، اما کبالت بر رفتار برخی فولادهای خاص تأثیرگذار است.

فولادهای ابزار پر سرعت

کبالت سختی گرم فولادهای ابزاری پر سرعت را بالا برده و در نتیجه، بازدهی برشکاری این ابزارها را حین عملیات، زمانی که دما بالا می‌رود، افزایش می‌دهد. کبالت به هر دو نوع فولادهای پر سرعت مولیبدن‌دار و تنگستن‌دار بین ۵ تا ۱۲ درصد افزوده می‌شود.

این عنصر در برخی فولادهای ابزاری کار گرم و سرد شده نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عنوان مثال، H19، که یک فولاد ابزاری کار سرد شده است، بین ۴ تا ۴/۵۰ درصد کبالت، و فولاد پرکروم کار سرد شده D5 بین ۲/۵۰ تا ۳/۵۰ درصد کبالت دارد.



شکل ۶ کاربرد کبالت در فولادهای ابزارآلاتی پر سرعت

فولادهای با تافنس شکست بالا

فولادهای با تافنس شکست بالا که نوعی فولادهای سازه‌ای با استحکام تسلیمی در حد MPa ۱۳۸۰ و تافنس شکستی در حدود MPa ۱۰۰ یا بیشتر هستند نیز کبالت دارند. کبالت در این فولادها رسوب $(Mo, Cr)_2C$ را افزایش داده و استحکام فولاد را بالا می‌برد. بعلاوه، دمای تبدیل مارتنزیتی را زیاد کرده و تأثیر نیکل را خنثی می‌کند. نمونه‌هایی از این فولادها عبارتند از HP-9-30 (۴/۵۰ درصد کبالت)، AF1410 (۱۴/۰ درصد کبالت)، و AerMet 100 (۱۳/۴ درصد کبالت). کاربردهای فولادهای با تافنس شکست بالا عبارتند از اجزای دنده فرود، قلاب‌های کاهش سرعت فرود، قلاب‌های پرواز، بست‌ها، اجزای سازه‌ای، زره، آکتواتورها، مهمات، اجزای با تیرانس بالیستیک، محور موتورهای جت، محورهای محرکه، تیرک‌های هلی کوپتر، و حلقه‌های مهارکننده.

فولادهای ضد زنگ

برخی فولادهای ضد زنگ از نوع مارتنزیتی کربن‌دار که برای کاربردهای دنده‌ای و یاتاقانی تولید می‌شوند نیز کبالت دارند. حضور کبالت در این فولادها، تافنس شکست، سختی گرم، مقاومت به سایش فلز-به-فلز، و مقاومت به خوردگی را افزایش می‌دهد. مثال‌هایی از این نوع فولادها شامل Pyrowear 675 (۵/۴۰ درصد کبالت) و CSS-42L (۱۲/۵ درصد کبالت) هستند. آلیاژهای فولادی ضد زنگ هارد فیسینگ شده حاوی کبالت نیز توسعه یافته‌اند. فولادهای ضد زنگ آستنیتی هارد فیسینگ شده حاوی ۹ درصد کبالت جهت تعمیر آسیب‌های ناشی از خوردگی حفره‌ای توربین‌های هیدرولیک در نیروگاه‌های برق بکار می‌روند. فولادهای ضد زنگ مارتنزیتی هارد فیسینگ شده حاوی ۲/۵ درصد کبالت به عنوان روکش جوش در دستگاه ریخته‌گری-نورد پیوسته بکار برده می‌شوند. کبالت سبب بهبود مقاومت به سایش و افزایش مقاومت به ترک‌های ناشی از خستگی گرمایی می‌شود.

برخی پوشش‌های کبالت

پوشش‌های روکشی

این نوع پوشش‌ها روی سوپراآلیاژها رسوب داده می‌شوند تا مقاومت سوپراآلیاژ در برابر خوردگی دمابالا را افزایش دهند. تکنیک پوشش‌دهی فیزیکی بخار توسط پرتوی الکترونی یا اسپری پلاسما می‌تواند جهت اعمال این پوشش‌ها بکار گرفته شود. این پوشش‌ها عموماً با نام MCrAlY شناخته می‌شوند که در آن، M معرف کبالت، نیکل، آهن یا ترکیبی از این فلزات است.

پوشش‌های آبکاری شده‌ی الکترولیزی

هر چند که کبالت به کمک چند نوع الکترولیت به راحتی آبکاری می‌شود، اما کبالت خالص آبکاری شده از اهمیت تجاری یا تکنیکی قابل توجهی برخوردار نیست. از طرف دیگر، کبالت نقش مهمی در آبکاری آلیاژی دارد. به عنوان مثال، افزودن کبالت به محلول‌های آبکاری نیکل، سختی و استحکام نیکل آبکاری شده، خصوصاً به روش الکتروفورمینگ، را افزایش می‌دهد. افزودن ۶ g/L کبالت به محلول آبکاری حاوی ۶۰۰ g/L سولفامات نیکل، آلیاژی حاوی ۳۴ درصد کبالت تولید می‌کند که حداکثر سختی آن به ۵۲۰ HV می‌رسد. سایر پوشش‌های آبکاری شده کبالت‌دار شامل کبالت تنگستن، کبالت-مولیبدن، و روی-کبالت هستند.

برخی کاربردهای غیر متالورژیکی کبالت

کاتالیزور

کبالت به دلیل فعالیت کاتالیزوری خود کاربرد گسترده‌ای در صنایع پتروشیمی و پلاستیک دارد. پرکاربردترین کاتالیزور کبالت شامل اکسیدهای کبالت و مولیبدن روی پایه اکسید آلومینیمی است که در گوگردزدایی هیدروژنی شارژ نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. گوگردزدایی امکان استفاده از نفت خام پرگوگرد را فراهم آورده، آلودگی اتمسفری را کاهش داده، و از آلودگی کاتالیزورهای پلاتینی که در مراحل بعدی فرایند ریفرمینگ بکار برده می‌شوند جلوگیری می‌کند. دومین کاربرد عمده کبالت در کاتالیزور مخلوط استات کبالت/برمید سدیم منگنز جهت تولید اسید ترفتالیک و دی-متیل ترفتالات است. این مواد در تولید رزین برای بطری‌های پلاستیکی بکار می‌روند.

ترکیبات کبالت، مواد کاتالیزوری گسترده و متنوعی هستند. مواد کبالت دار برای کاتالیز واکنش‌های زیر بکار می‌روند: آزدایی، آبگیری، آبکافت شامل نیتروژن زدایی آبی و گوگرد زدایی آبی، به‌پزدایی آبی فرآورده‌های نفتی، اکسیداسیون انتخابی، اکسیداسیون آمونیاکی، اکسیداسیون، هیدروفرمیل‌اسیون، پلیمری کردن، تجزیه انتخابی و سنتز آمونیاک بکار می‌روند. افزون بر این واکنش‌های معمول و متداول، واکنش‌های دیگری نیز وجود دارند که ترکیبات شیمیایی کبالت برای آنها کاتالیزورهای خیلی خوبی بشمار می‌روند. نمونه‌های آن استفاده در خشک کننده‌ها، اکسیداسیون آمونیاک به اسید نیتریک و سنتز فلورو کربن هاست. مؤثر بودن کبالت بعنوان یک

کاتالیزور به سهولت تشکیل کمپلکس ها و بویژه انواع گوناگون و فراوان لیگاندهای موجود در این کمپلکس ها بستگی دارد. مهمترین فرآیندهای صنعتی مصرف کننده کاتالیزورهای کبالت عبارتند از جدایش گوگرد از مواد با بنیان نفتی (کاتالیزور کبالت - مولیبدن - آلومینیوم در سولفورزدایی از نفت سبک)، اکسیداسیون انتخابی فاز مایع و هیدروفرورمیلایسیون. کاتالیزورهای بکار رفته برای واکنش های خالص سازی آبی از جمله هیدروسولفوریزاسیون مرکب از اکسیدهای کبالت و مولیبدن است که بر مواد ناواکنش گر یا لخت مثل آلومینا سوار می شوند و ۳/۷ - ۲/۵٪ کبالت دارند.

خشک کننده‌ها

نمک‌های کبالت حاصل از گروه‌های بالاتر اسیدهای کربوکسیلیک (صابون‌های کبالت)، خشک شدن رنگ‌های پایه روغنی، جلا و جوهر را تسریع می‌کنند. نمک‌های کبالت (II) در برخی اسیدهای آلی بعنوان یک عامل خشک کننده در روغن های اشباع نشده موجود در رنگ و جوهر بکار می روند. نمک های بکار رفته برای این منظور عبارتند از اولنات، اتیل هگزانوات، نفتنات، سویات، لینولئات، رزینات و تالات. این نمک های کبالت یا در روغن های غیر اشباع حل می شوند یا اینکه با آنها واکنش می دهند تا ترکیبات محلولی را بسازند که بعد هم شتاب دهنده های اکسید کنندگی روغن عمل می کنند و هم کاتالیزور پلیمری شدن که با افزایش پایداری، مقاومت و انعطاف پذیری تشکیل یک پوشش بر روی آن می دهند. عمل خشک شدن صرفاً بخاطر رفتار اکسیداسیون احیای گونه های کبالت موجود است که نمایانگر نیمه کربوکسیلات است که بسادگی مانند گروه اولئوفیلیک عمل می کند تا ترکیبات کبالت روغن ها را حل کند. میزان کبالت افزوده شده به روغن ها بعنوان عوامل خشک کننده در بازه ۰/۶ - ۰/۱٪ قرار دارند. نمک ها را می توان بصورت محلول هایی به حلا لهای آلی افزود یا بصورت پودر الترافین در کل مجموعه پخش کرد. عوامل خشک کننده کبالت دار برای ترمیم فرآیندهای دمای پایین برای رزین های سیلیکونی نیز بکار می برند.



شکل ۷ کاربرد کبالت در خشک کننده‌های مایع

انواع کبالت در لایه سطحی پوشش که در تماس با اتمسفر اکسیژن دار قرار می گیرد، موجب پیشبرد عمل خشک شدگی می شوند. این عمل از چنان سرعتی برخوردار است که با تشکیل لایه نازک پولیمری سخت از افزایش و گسترش خشک شدگی به عمق جلوگیری می کند، بدین دلیل، کبالت اغلب به همراه دیگر فلزات مانند روی و کلسیم استفاده می شود که عمل خشک کردن را انجام نمی دهند بلکه تاثیرات کبالت را کند کرده، آنها را کنترل می کنند.

رنگدانه در سرامیک‌ها و شیشه‌ها

اکسیدهای کبالت کمپلکس جهت رنگ‌آمیزی و تزئین سرامیک‌ها و شیشه‌ها بکار می‌روند. رنگ‌هایی که از رنگدانه‌های کبالت‌دار بدست می‌آیند عموماً آبی تا سبز بوده و بیشتر بر پایه اسپینل کبالت یا سیلیکات کبالت هستند. کبالت به صورت پوشش‌هایی برای رنگ‌های لعابی چینی‌ها، سرامیک و رنگدانه (کبالت آبی و کبالت سبز) در شیشه‌ها استفاده می‌شود. سده‌های متمادی است که برای ایجاد رنگ آبی در شیشه، سرامیک و لعاب از اکسید کبالت استفاده می‌کنند. میزان کبالت در محصول نهایی به شدت رنگ دلخواه بستگی دارد اما معمولاً ۰/۵ - ۰/۴ درصد برای سرامیک و ۰/۵ درصد برای شیشه عینک جوشکاری و چند ppm برای شیشه عدسی‌های دوربین تجاوز نمی‌کند. گستره‌ای از اکسیدهای فلزی مخلوط شده کبالت و هگزانیترات تری پتاسیم کبالت (رنگدانه زرد) نیز در رنگدانه‌ها استفاده می‌شود. تغییرات رنگ به ترکیب دقیق اکسید و روش آماده‌سازی رنگدانه بستگی دارد. رنگدانه‌ها معمولاً با مخلوط کردن اجزاء بصورت اکسید یا بصورت نمک‌هایی که بسادگی تفکیک می‌شوند، پس از حرارت دهی مخلوط تا دمای ۱۳۰۰ - ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد پیش از خردایش محصول برای بدست آوردن پودر ریزدانه رنگدانه‌ای تهیه می‌شود. کاربرد آن در سرامیک به این گونه است که رنگدانه‌ها را می‌توان به مواد پایه سرامیکی افزود تا به کل مجموعه رنگ دهد یا اینکه پس از مخلوط شدن با یک کمک ذوب مناسب، بعنوان لعاب زیر یا رو استفاده کرد. رنگ نهایی پس از اینکه سرامیک حرارت دید ممکن است بخاطر واکنش بین رنگدانه و رس تغییر کند و کمتر شود.



شکل ۸ کاربرد کبالت در شیشه رنگی

چسبها

نمک‌های کمپلکس کبالت به لاستیکی که در ساخت تایرهای محوری استفاده می‌شود اضافه می‌گردند. این نمک‌ها چسبندگی میان لاستیک و سیم‌های فولادی با پوشش برنجی را افزایش می‌دهند.

کاربردهای الکتریکی

باتری‌های قابل شارژ کبالت‌دار از جمله کاربردهایی از این فلز هستند که به سرعت توسعه یافتند. این باتری‌ها در ابزارهای برقی، اسباب‌بازی‌ها، وسایل نقلیه الکتریکی، کامپیوترها، گوشی‌های موبایل، دوربین‌های عکاسی و فیلم‌برداری و سایر دستگاه‌های برقی مشابه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در باتری‌های نیکل-کادمیم و نیکل-هیدرید فلز، اکسید یا هیدروکسید کبالت پودری ریز جهت بهبود عملکرد باتری اضافه می‌شود. در باتری‌های لیتیم-یونی، LiCoO_2 ۵۰ درصد وزن کاتد را به خود اختصاص می‌دهد.

سایر کاربردهای الکترونیکی کبالت عبارتند از نیمه هادی‌ها، مدارهای منسجم، کلکتورهای خورشیدی، حسگرهای گاز، ترانسفورماتورهای پیزوالکتریک، وریستورهای اکسید روی، و مقاومت‌های گرمایی با ضریب حرارتی منفی.

کاربردهای دارویی

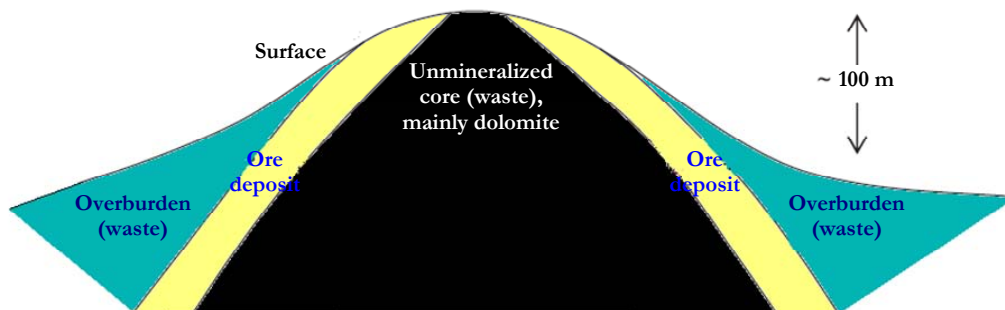
در پزشکی Co60 به عنوان یک فلز رادیواکتیو و تابنده پرتو گاما در پرتودرمانی (رادیوگرافی) استفاده می‌شود. علاوه بر این در استرلیزه کردن مواد غذایی به روش پاستوریزه کردن سرد استفاده می‌شود. استفاده پزشکی کبالت بیشتر در ویتامین B_{۱۲} است. این ویتامین به روش تولید میکروبی آنتی بیوتیک‌هایی همچون استپتومایسین، آئرومایسین و ترامایسین پس از زدایش آنتی بیوتیک‌ها بدست می‌آید. از ویتامین B_{۱۲} و کبالت در درمان انواع خاصی از کم خونی بکار می‌رود. نمکهای کبالت که بطور تزریقی بکار می‌روند، در مسمومیت سیانیدی بعنوان پادزهر استفاده می‌شوند.

کاربردهای کشاورزی

مواد شیمیایی کبالت برای جبران کمبود کبالت خاک و حیوانات بکار می‌رود. بهبود خاک معمولاً نیاز به بهپردازی بالایی دارد که شامل سولفات کبالت است حال آنکه نشخوار کنندگان برای جبران کسر کبالت خود یا باید نمک‌هایی را لیس بزنند که تا ۰/۱٪ کبالت بصورت سولفات دارد یا غذای کنسانتره یا پلت بخورند که دارای اکسید کبالت است که به یک ماده خنثی مانند خاک چینی اضافه شده است. حدود ۳۶٪ تولید سالانه جهانی کبالت به مواد شیمیایی تبدیل می‌شود، این در حالی است که آلیاژهای دمای بالا و مغناطیسی به ترتیب ۴۱٪ و ۱۴٪ از مصرف را به خود اختصاص می‌دهند.

لایه های کانه مس-کبالت

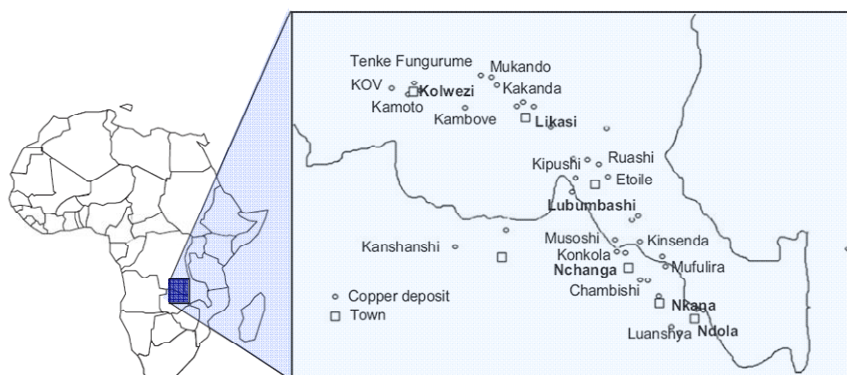
منطقه کاپربلت (Copperbelt) در زامبیا و جمهوری دموکراتیک کنگو بیش از یک سوم کل ذخایر جهانی کبالت و یک دهم ذخایر جهانی مس را به خود اختصاص می‌دهد. این ناحیه یک زنجیره کوهستانی ۵۰۰ میلیونی ساله است که در اثر برخورد دو تکه بزرگ از پوسته‌های قاره‌ای به وجود آمده است. این برخورد عامل بروز حرکات تکتونیک نیز بوده که سبب تا شدن قابل توجه ذخایر شده است. در برخی نقاط، ذخایر به صورت عمودی یا حتی وارونه قرار گرفته‌اند. این معدن کوهستانی شامل دو ناحیه است: ذخایر اکسیدی هوازده شده نزدیک به سطح و ذخایر سولفیدی هوازده نشده که زیر لایه‌های اکسیدی قرار دارند. ناحیه هوازده شده عموماً تا عمقی حدود ۷۰ تا ۱۵۰ متر ادامه دارد، اما عمق نفوذ بین ذخایر به شدت تغییر می‌کند. با افزایش عمق، ناحیه هوازده شده جای خود را به یک ناحیه میانی می‌دهد که حاوی مخلوطی از اکسیدها و سولفیدها است. در عمق بیش از ۲۵۰ متر، این ناحیه میانی نیز جای خود را به کانه سولفیدی می‌دهد.



شکل ۹ دیاگرام شماتیک ذخیره کانی مس-کبالت در کشور جمهوری دموکراتیک کنگو. استخراج از نوک توده شروع شده و به سمت پایین پیش می‌رود، به گونه‌ای که نسبت مواد زاید به کانه با گذشت زمان افزایش پیدا می‌کند. گرید کانه و میزان کانی شدن در قسمت‌های مختلف ذخیره متفاوت است.

معادن کبالت و نیکل در جهان

حدود نیمی از کبالت اولیه در جهان از معادن کانه‌های نیکل و به عنوان محصول جانبی استحصال نیکل تولید می‌شود. نیمه دیگر تولید جهانی کبالت اولیه از معادن مس-کبالت کاپربلت (Copperbelt)، که عمدتاً در کشورهای زامبیا و جمهوری دموکراتیک کنگو قرار دارند، بدست می‌آید. ناحیه کاپربلت، بیش از یک سوم ذخایر معدنی کبالت و یک دهم ذخایر معدنی مس در دنیا را به خود اختصاص می‌دهد. کشور جمهوری دموکراتیک کنگو بزرگ‌ترین استخراج‌کننده کبالت و چین، بزرگ‌ترین تصفیه‌کننده این فلز بشمار می‌آید.



شکل ۱۰ موقعیت ذخایر اصلی ناحیه کاپربلت در آفریقای مرکزی.

عمده‌ترین تأسیسات جهانی استحصال نیکل عبارتند از تأسیسات تصفیه شريت (Sherritt) کانادا، تأسیسات ذوب مات و تصفیه ویل (Vale) در تامسون و سادبری کانادا، تأسیسات ذوب مات اکستراتا (Xstrata) کانادا، تأسیسات دولت کوبا و تأسیسات لیچینگ (استحصال مایع- جامد) و تشویه کارون (Caron) کوبا، تأسیسات لیچینگ با اسید سولفوریک داغ شريت (Sherritt) کوبا، تأسیسات ذوب فرونیکل آنگلوآمریکن (Anglo American) ونزوئلا، و تأسیسات ذوب فرونیکل بی اچ پی بیلیتن (BHP Billiton) کلمبیا. بعلاوه، تأسیسات استخراج فلزات گروه پلاتین در آفریقای جنوبی و زیمباوه نیز مقادیر زیادی نیکل به عنوان محصول جانبی تولید می کنند.

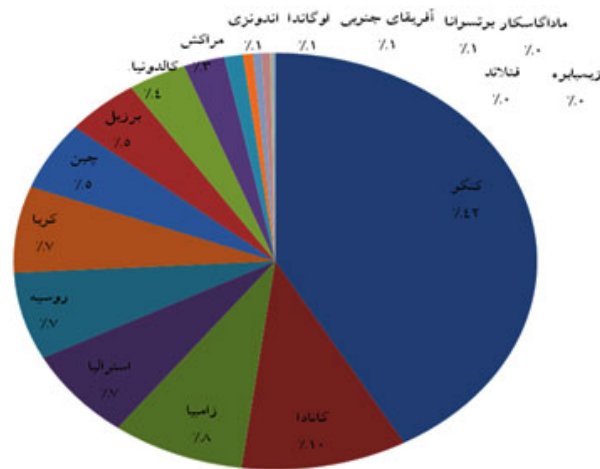
تولید کبالت در جهان

کبالت یک عنصر نسبتاً نایاب است و تنها حدود ۰/۰۰۱ درصد از پوسته زمین را تشکیل می دهد. بر اساس داده های سازمان زمین شناسی بریتانیا (BGS)، کشورهای کنگو، کانادا، زامبیا، استرالیا، روسیه، کوبا، چین، برزیل، کالدونیای جدید، مراکش، اندونزی، آفریقای جنوبی، اوگاندا و بوتسوانا مهمترین تولید کنندگان کبالت می باشند.

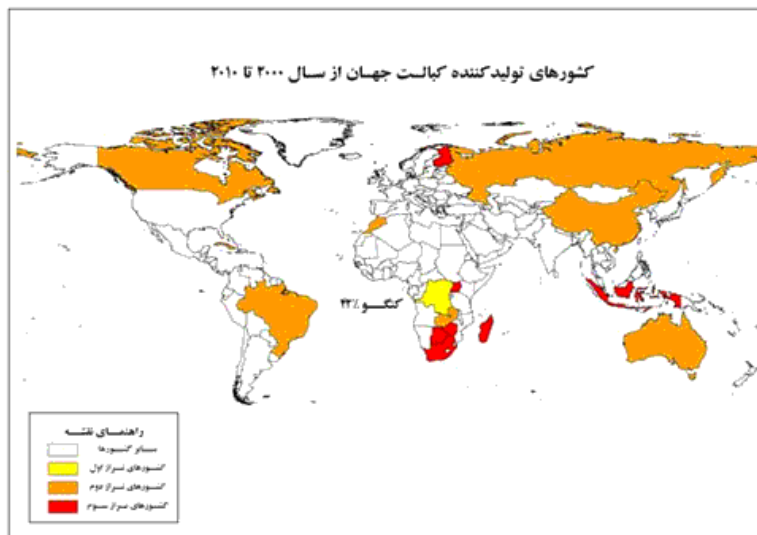
میزان استخراج جهانی کبالت از تولید سالانه حدود ۲۰ هزار تن در سال ۱۹۹۵ به حدود ۶۵ هزار تن در سال ۲۰۱۰ رسید. در سال ۲۰۱۱، حدود ۸۲ هزار تن کبالت تولید و تصفیه شد که مهم ترین تولیدکننده آن چین بود. عامل اصلی این افزایش تولید، افزایش کاربرد این فلز در کشورهای در حال توسعه، بخصوص چین، است.

بزرگترین تولیدکنندگان کبالت جهان شامل کشور کنگو در گروه کشورهای تراز اول، کشورهای کانادا، زامبیا، استرالیا، روسیه، کوبا، چین، برزیل، کالدونیای جدید و مراکش در گروه کشورهای تراز دوم و کشورهای اندونزی، آفریقای جنوبی، اوگاندا، بوتسوانا، زیمباوه، ماداگاسکار و فنلاند در گروه کشورهای تراز سوم قرار می گیرند. تولید کبالت معمولاً بطور فرعی و ثانویه وابسته به دیگر فلزات است که نمونه آن مس و نیکل است و تولید آنرا نمی توان بدون افزایش در بازار فلزات اولیه بطور

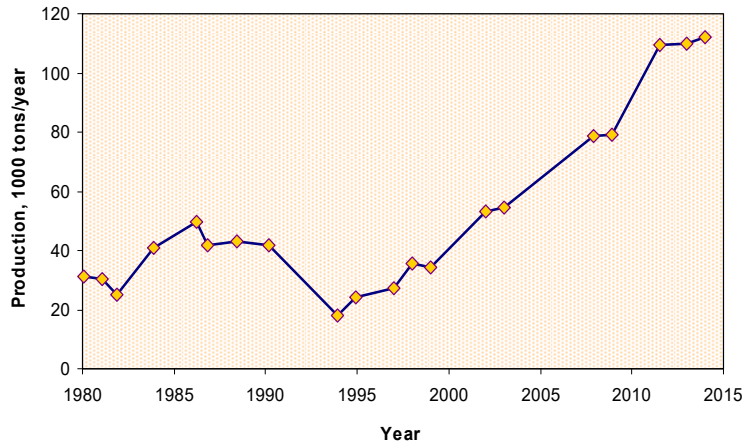
چشمگیری افزایش داد. دیگر عامل مهم در اقتصاد تأمین کبالت این واقعیت است که تولید عظیمی از کانه کبالت در مقیاس جهانی از کشور زئیر است و بنابراین وابسته به ثبات سیاسی آن کشور می باشد. کبالت به عنوان یک استراتژیک بحساب می آید و در برخی کشورهای بعنوان ذخیره استراتژیک انبار می شود.



شکل ۱۱ میزان تولید کبالت در جهان.



شکل ۱۲ پراکندگی کشورهای تولیدکننده کبالت در جهان.



شکل ۱۳ تولید جهانی کبالت اولیه از سال ۱۹۸۰ تاکنون صرفنظر از کانه مصرف شده جهت ذوب فرونیکل که کبالت فلزی از آن بازیابی نمی‌شود.

حدود یک چهارم تولید اولیه کبالت از کانه‌های سولفیدی حاصل می‌گردد. کبالت همواره در کانه‌های سولفید نیکل و اغلب در پنتلادیت، $(Ni,Fe,Co)_9S_8$ ، که فراوان‌ترین کانی سولفید نیکلی است، یافت می‌شود. پنتلادیت به طور متوسط حدود 0.3 ± 0.1 ٪ کبالت دارد. با توجه به اینکه غلظت نیکل حدود ۳۶ درصد است، نسبت جرمی کبالت به نیکل در پنتلادیت به طور معمول 0.3 خواهد بود.

حدود یک چهارم دیگر از کبالت اولیه در جهان از کانه‌های لاتریتی بدست می‌آید. کبالت همواره در کانه‌های لاتریت نیکل وجود دارد و منشأ آن سنگ‌های آذرین لاتریتی نشده است که کانه‌های لاتریت از آنها ساخته شده‌اند.

کانه‌های معادن کاپربلت (Copperbelt) آفریقای مرکزی در جمهوری دموکراتیک کنگو و زامبیا حاوی مقادیر زیادی کبالت هستند. حدود نیمی از تولید جهانی کبالت از این ناحیه تأمین می‌شود، هر چند که تصفیه آن در اغلب در جای دیگری انجام می‌گیرد.

کانه‌های سولفیدی به راحتی توسط روش‌های فراوری استاندارد، تکنیک‌های پیرومتالورژیکی و هیدرومتالورژیکی تحت عملیات قرار می‌گیرند و مس و کبالت از آنها تولید می‌گردد.



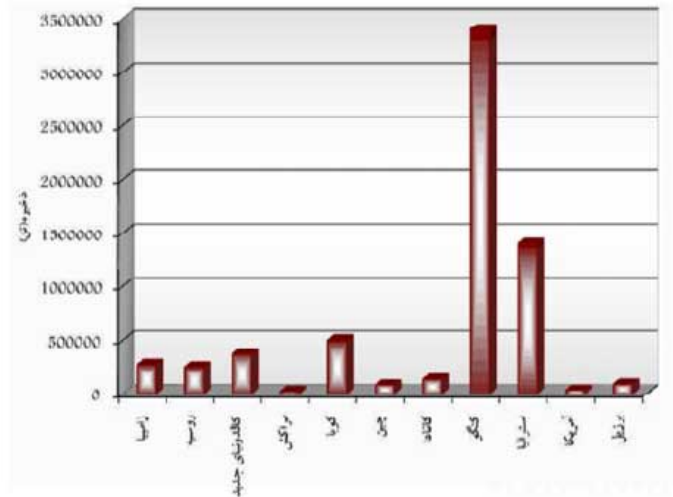
شکل ۱۴ فلز کبالت تولید شده به روش الکترولیتی در جمهوری دموکراتیک کنگو

مقدار کمی کبالت، بین ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ تن در سال، از کانه‌های آرسنیک در مغرب تولید می‌شود. اصلی‌ترین ماده معدنی در این کانه اسکوترودیت، $(Co, Fe, Ni)As_x$ ، است که x مقداری بین ۲ و ۳ دارد.

علاوه بر تولید کبالت اولیه، مقدار قابل توجهی کبالت فلزی و ترکیبات آن از قراضه‌های بازیافتی بدست می‌آیند. تخمین زده شده که یک ترکیب کبالت‌دار یا آلیاژ کبالت به طور متوسط، ۸۰ درصد کبالت اولیه و ۲۰ درصد کبالت بازیافتی دارد.

تولید کبالت و بازاریابی آن به وضعیت و ثبات کشورهای آفریقایی بستگی دارد. در ماه مه ۱۹۷۸، توازن اقتصادی بعثت حمله ایالت شابای زئیر بوسیله ارتش کاتانگا بهم ریخت که به کاهش تولید کبالت و افزایش شدید قیمت منجر شد. بستگی عرضه کبالت جهانی به تولید کنندگان آفریقا بسیار شدید است. تولید کبالت کشورهای غربی بطور متوسط از سال ۱۹۵۰ به بعد ۲/۸٪ رشد داشته است. علاوه بر تولید اولیه یا تولید از ماده معدنی و کانسار، بازیافت کبالت نیز اهمیت یافته است. برآوردها نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۰، ۴۰ هزارتن فلز در کشورهای غربی تولید شده است اما بخش عمده ای از آن (۶۸٪) از آفریقا تأمین شده است. چشم انداز عرضه کبالت به بازار جهانی بطور منطقی و معقولی رضایت بخش است، ذخایر بزرگند اما تولید کبالت به معدنکاری کانه های کبالت دار دیگر فلزات از جمله مس و نیکل بستگی دارد که تأثیرات اقتصادی با اهمیتی را در تعیین کانه هایی دارد که کبالت درآینده از آنها استحصال خواهد شد.

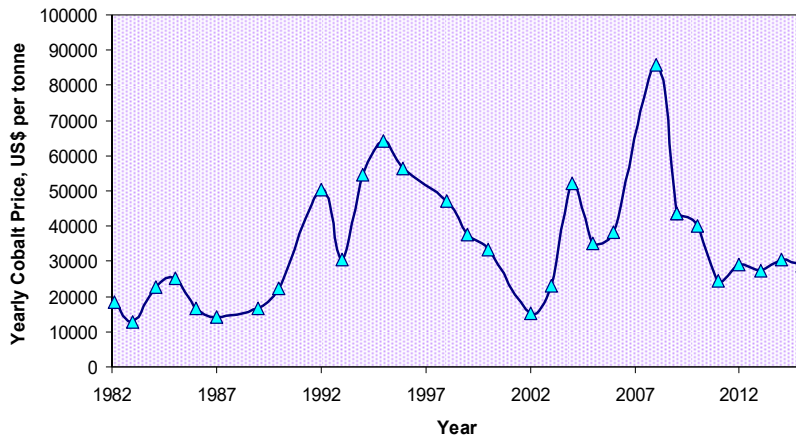
با توجه به داده های سازمان زمین شناسی آمریکا، در سال ۲۰۱۱ کنگو با ۳۴۰۰ هزارتن، استرالیا با ۱۴۰۰ هزار تن و کوبا با ۵۰۰ هزارتن بیشترین ذخایر جهانی کبالت را بخود اختصاص می دهند.



شکل ۱۵ میزان ذخیره کبالت در جهان.

روند اقتصادی کبالت در جهان

بر اساس داده های USGS در بازه یازده ساله، بهای کبالت از ۱۱۷۰۰ دلار بر تن در سال ۲۰۰۰ به ۱۰۳۰۰ دلار بر تن در سال ۲۰۱۰ رسیده است. بیشترین نرخ افزایش بها در سال ۲۰۰۵، ۱۱۸۰۰ دلار بر تن و کمترین نرخ بها ۷۵۸۰ دلار بر تن بوده است. در طی دوره ۱۹۷۷-۱۹۶۰، قیمت کبالت الگوی رشد متوسطی حدود ۲/۸٪ داشته است. قیمت متوسط تولیدکنندگان در سال ۱۹۶۰ و ۱۹۷۷ به ترتیب ۳/۳ و ۱۳ دلار در کیلوگرم بود. در دوره ۷۹ - ۱۹۷۸، قیمت فلز به ۱۰۸ دلار در کیلوگرم رسید و از آن زمان کاهش یافت. در اوایل ۱۹۸۵ به قیمت ۲۷ - ۲۴ دلار در کیلوگرم معامله می شد.



شکل ۱۶ تغییرات قیمت کبالت از سال ۱۹۸۲ تاکنون

در حال حاضر قیمت روز کبالت با توجه به بازار بورس فلزات لندن در حدود ۳۰۰۰۰\$/تن است.