

Les 4: Goudverwerking - Van ruw materiaal tot zuiver goud

Inleiding

Welkom bij de vierde les van onze cursus over de fascinerende wereld van goud. In de vorige les hebben we de verschillende methoden van goudwinning behandeld, van traditionele technieken tot moderne mijnbouwoperaties. Nu gaan we een stap verder in de waardeketen: de verwerking van ruw erts tot zuiver goud. Dit verwerkingsproces vormt een cruciale schakel tussen de winning en de uiteindelijke toepassing van goud in onze economie en cultuur. De methoden die we zullen behandelen zijn het resultaat van eeuwen technologische evolutie en blijven zich ontwikkelen om efficiënter, milieuvriendelijker en kosteneffectiever te worden. Laten we ontdekken welke fascinerende stappen nodig zijn om het ruwe materiaal uit de aarde om te zetten in het glanzende edelmetaal dat we allemaal kennen.

Vorbereidende verwerking: Verbrijzelen en malen

De eerste stap in de verwerking van gouderts is het verkleinen van het ruwe materiaal tot een fijne consistentie. Dit is noodzakelijk omdat gouddeeltjes vaak microscopisch klein zijn en ingesloten zitten in andere mineralen.

Verbrijzelen

Het gouderts dat uit de mijn komt bestaat uit grote brokken gesteente. In primaire verbrijzelaars, zoals kaakbrekers, wordt het erts eerst verkleind tot fragmenten van ongeveer 10-20 cm. Dit gebeurt door immense druk uit te oefenen op het gesteente tussen een vaste en een bewegende plaat.

Malen

Na het verbrijzelen ondergaat het materiaal een maalproces. In kogelmalens - grote draaiende cilinders gevuld met stalen kogels - wordt het erts verder vermalen tot een fijn poeder. De stalen kogels werken als sloopkogels en vermalen het materiaal terwijl de cilinder draait. Het eindresultaat is een substantie met een consistentie die lijkt op fijn zand of zelfs poeder, waarbij de afmeting van de deeltjes vaak minder dan 0,1 mm is.

Deze voorbereidende fase is cruciaal voor de effectiviteit van de volgende verwerkingsstappen, aangezien de gouddeeltjes bereikbaar moeten zijn voor de extractiechemicaliën of fysieke scheiding.

Gravatieconcentratie en flotatie

Nadat het erts is vermalen, worden verschillende methoden toegepast om het goud te scheiden van het omringende materiaal, te beginnen met fysische scheidingstechnieken.

Gravatieconcentratie

Deze techniek maakt gebruik van het feit dat goud aanzienlijk zwaarder is dan de meeste andere mineralen (met een dichtheid van $19,3 \text{ g/cm}^3$). In moderne gravitatieconcentratoren stroomt het gemalen erts samen met water over speciale scheidingstafels of door centrifuges. De zwaardere gouddeeltjes bezinken of bewegen anders dan lichtere deeltjes, waardoor ze kunnen worden afgezonderd.

Een traditioneel voorbeeld van gravitatieconcentratie is het pannen wassen, waarbij een pan met erts onder water wordt geschud en gedraaid. De lichtere deeltjes spoelen weg, terwijl het zwaardere goud achterblijft.

Flotatie

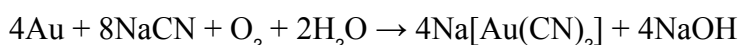
Bij flotatie wordt het gemalen erts gemengd met water en chemische reagentia die zich hechten aan specifieke mineralen. Er worden luchtbellen door deze suspensie geblazen, waardoor sommige mineralen aan de bellen hechten en naar het oppervlak stijgen, terwijl andere (waaronder goud) zinken. Hoewel flotatie voornamelijk wordt gebruikt voor de verwerking van complexe ertsen met sulfiden, speelt het een belangrijke rol in de verwerking van bepaalde goudertsen, vooral wanneer goud is geassocieerd met sulfide mineralen zoals pyriet.

Hydrometallurgische processen: Cyanidatie en alternatieve methoden

De meest gebruikte methode voor goudextractie is cyanidatie, een chemisch proces dat sinds het einde van de 19e eeuw wordt toegepast.

Cyanidatie

Bij dit proces wordt het gemalen erts behandeld met een verdunde natriumcyanide-oplossing in aanwezigheid van zuurstof. De chemische reactie die plaatsvindt, zorgt ervoor dat het goud oplost in de vloeistof:



De goudcyanide-oplossing wordt vervolgens gescheiden van het resterende vaste materiaal (tailings). Dit kan gebeuren door verschillende methoden:

- 'Heap leaching': opgestapeld erts wordt besproeid met cyanide-oplossing
- 'Vat leaching': het erts wordt in grote vaten gemengd met de cyanide-oplossing
- 'Carbon-in-pulp' (CIP): actieve koolstof wordt toegevoegd om het opgeloste goud te absorberen

Alternatieve methoden

Vanwege de toxiciteit van cyanide onderzoekt de industrie actief alternatieve loogmiddelen zoals:

- Thiosulfaat: vooral effectief voor bepaalde complexe ertsen
- Chlorinatie: een historisch proces dat een comeback maakt in verbeterde vorm
- Biometallurgie: gebruik van bacteriën om goud te extraheren uit sulfide mineralen

Deze alternatieve methoden worden steeds belangrijker naarmate de milieuwetgeving strenger wordt en de industrie streeft naar duurzamere praktijken.

Terugwinning en raffinage: Electrowinning en smelten

Nadat het goud in oplossing is gebracht, moet het worden teruggewonnen en verder gezuiverd.

Electrowinning

Bij electrowinning wordt de goudcyanide-oplossing door een elektrolytische cel geleid. Door elektrische stroom toe te passen, wordt het opgeloste goud afgezet op kathodes van staalwol of andere materialen. Dit proces concentreert het goud in een vorm die klaar is voor verdere zuivering.

Merrill-Crowe proces

Een alternatief voor electrowinning is het Merrill-Crowe proces, waarbij zinkpoeder wordt toegevoegd aan de goudcyanide-oplossing. Het zink verdringt het goud, waardoor metallisch goud neerslaat.

Smelten en raffinage

Het geconcentreerde goud, vaak nog vermengd met andere metalen, wordt vervolgens gesmolten in ovens bij temperaturen van meer dan 1000°C. Tijdens het smeltproces worden fluxen (zoals borax of silica) toegevoegd om onzuiverheden te verwijderen, die aan het oppervlak komen als 'slak' en worden afgeschept.

Voor de hoogste zuiverheid (99,99% of '4 negen') ondergaat het goud vaak nog een elektrolytisch raffinageproces, waarbij het goud wordt opgelost en selectief wordt afgezet op een kathode. Een alternatief is het Miller-proces, waarbij chloorgas door het gesmolten goud wordt geblazen om onzuiverheden te verwijderen.

Conclusie

Van ruwe brokken erts tot glanzende goudstaven - de reis van goud door het verwerkingsproces illustreert de ingenieuze methoden die de mensheid heeft ontwikkeld om dit kostbare metaal te winnen. Elke stap in dit proces - van verbrijzelen en malen tot cyanidatie en raffinage - is geoptimaliseerd om de maximale hoeveelheid goud te extraheren met een zo hoog mogelijke zuiverheid.

De technologieën blijven evolueren, met een toenemende nadruk op efficiëntie, kostenreductie en milieuvriendelijkheid. Nieuwe methoden zoals biometallurgie en verbeterde loogmiddelen bieden veelbelovende alternatieven voor traditionele processen.

In onze volgende les zullen we dieper ingaan op de kwaliteit en zuiverheid van goud. We zullen leren over karaatwaarden, verschillende legeringen en hun eigenschappen, en de methoden die worden gebruikt om de zuiverheid van goud te bepalen en te certificeren. Deze kennis zal essentieel zijn om te begrijpen hoe goud wordt gewaardeerd en verhandeld in zowel de juweliersindustrie als investeringsmarkten.

Vragen en antwoorden

- Vraag:** Waarom is het verbrijzelen en malen van gouderts een noodzakelijke eerste stap in het verwerkingsproces?

Antwoord: Deze stap is noodzakelijk omdat gouddeeltjes vaak microscopisch klein zijn en ingesloten zitten in andere mineralen. Door het erts te verbrijzelen en malen tot een fijn poeder worden de gouddeeltjes blootgelegd en toegankelijk gemaakt voor de extractiechemicaliën of fysieke scheidingsmethoden in latere verwerkingsstappen.
- Vraag:** Op welk principe is gravitatieconcentratie gebaseerd?

Antwoord: Gravitatieconcentratie is gebaseerd op het verschil in dichtheid tussen goud ($19,3 \text{ g/cm}^3$) en andere mineralen. Omdat goud aanzienlijk zwaarder is, bezinkt het sneller in water en beweegt het anders over scheidingsoppervlakken, waardoor het kan worden gescheiden van lichtere materialen.
- Vraag:** Wat is de belangrijkste chemische reactie bij het cyanidatieproces?

Antwoord: De belangrijkste reactie is: $4\text{Au} + 8\text{NaCN} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{Na}[\text{Au}(\text{CN})_2] + 4\text{NaOH}$. Deze reactie zorgt ervoor dat goud oplost in de natriumcyanide-oplossing, waardoor het kan worden gescheiden van het onoplosbare materiaal.
- Vraag:** Noem twee alternatieven voor cyanide die worden onderzocht voor goudextractie.

Antwoord: Twee alternatieven zijn thiosulfaat-uitloging en chlorinatie. Andere opties zijn biometallurgie (gebruik van bacteriën) en verschillende halogeengebaseerde methoden.
- Vraag:** Wat is het verschil tussen electrowinning en het Merrill-Crowe proces?

Antwoord: Bij electrowinning wordt elektrische stroom gebruikt om goud af te zetten op kathodes, terwijl bij het Merrill-Crowe proces zinkpoeder wordt toegevoegd aan de goudcyanide-oplossing om het goud te laten neerslaan door chemische verdringing.
- Vraag:** Welke rol spelen fluxen tijdens het smeltproces van goud?

Antwoord: Fluxen zoals borax of silica worden toegevoegd om onzuiverheden te binden en te scheiden van het goud. Ze vormen een slak die naar het oppervlak van het gesmolten metaal stijgt en kan worden afgeschept, wat resulteert in zuiverder goud.
- Vraag:** Wat houdt het 'Carbon-in-pulp' (CIP) proces in?

Antwoord: Bij het CIP-proces wordt actieve koolstof toegevoegd aan de cyanide-oplossing met opgelost goud. De koolstof absorbeert het goud uit de oplossing, waarna de met goud beladen koolstof wordt gescheiden en behandeld om het goud te recupereren.
- Vraag:** Waarom zoekt de goudindustrie naar alternatieven voor cyanidatie?

Antwoord: De belangrijkste redenen zijn de toxiciteit van cyanide en de daarmee gepaard gaande milieurisico's, strengere milieuwetgeving, en de wens om duurzamere en veiligere verwerkingsmethoden te ontwikkelen.
- Vraag:** Wat wordt bedoeld met '4 negen' bij de zuiverheid van goud?

Antwoord: '4 negen' betekent een zuiverheid van 99,99%, wat aangeeft dat het goud voor 99,99% zuiver is met slechts 0,01% andere elementen of onzuiverheden.
- Vraag:** Wat is 'heap leaching' en hoe verschilt het van 'vat leaching'?

Antwoord: Bij 'heap leaching' wordt verbrijzeld erts opgestapeld op een ondoordringbare

ondergrond en besproeid met cyanide-oplossing die door het materiaal sijpelt en goud oplost. Bij 'vat leaching' wordt het erts in grote vaten gebracht en intensief gemengd met de cyanide-oplossing, wat meestal een sneller maar kapitaalintensiever proces is.